

# Cap sur l'espace



LKC  
TL  
796.5  
.H3714  
C.2

IC



# Cap sur l'espace

Theodore R. Hartz  
Irvine Paghis

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1982

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés et autres librairies

ou par la poste au :

Centre d'édition du gouvernement du Canada

Approvisionnement et Services Canada

Ottawa, Canada, K1A 0S9

N° de catalogue CO22-35/1982F

ISBN 0-660-90926-X

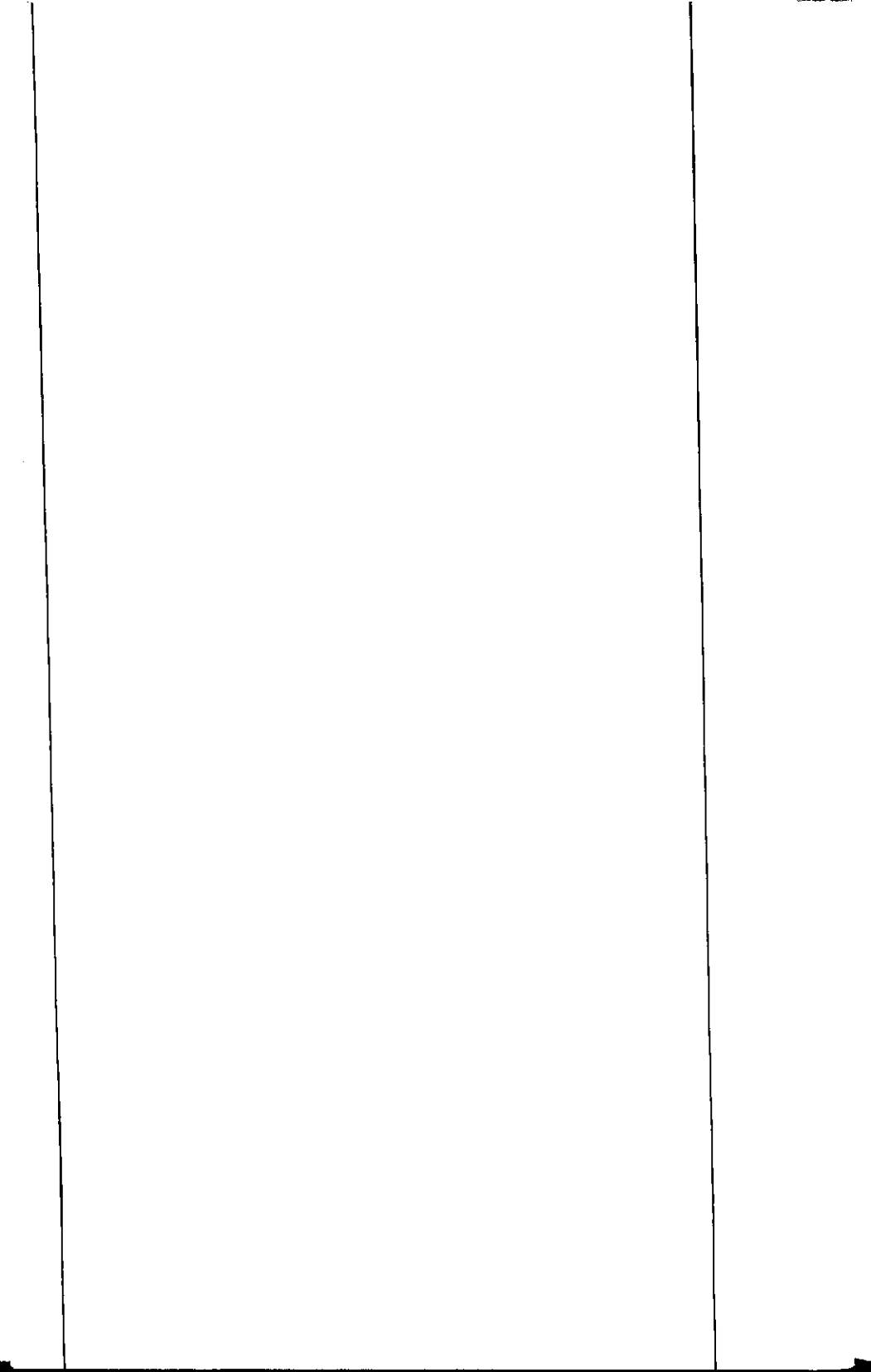
Canada : 9,95 \$

à l'étranger : 11,95 \$

Prix sujet à changement sans avis préalable

# Table des matières

	Page
<b>Avant-propos</b>	<b>5</b>
<i>Chapitre un</i>	
<b>Le Canada à la conquête de l'espace</b>	<b>8</b>
Introduction	8
Récapitulation des recherches spatiales au Canada	15
Organisation	25
Télécommunications spatiales	25
<i>Chapitre deux</i>	
<b>L'environnement spatial</b>	<b>30</b>
L'environnement terrestre	30
Les orbites de satellisation	36
L'environnement et les satellites	39
<i>Chapitre trois</i>	
<b>Le programme Alouette-ISIS</b>	<b>46</b>
Introduction	48
Premières études ionosphériques	49
Le programme Alouette	55
Le programme ISIS	64
Le groupe de travail	71
Exploitation des satellites	73
Résultats scientifiques	75
Réalisations techniques	99
Conclusion	101
<i>Chapitre quatre</i>	
<b>Le programme Hermès</b>	<b>104</b>
Introduction	105
Conception, construction et lancement d'Hermès	114
Portée des télécommunications	130
Opérations en orbite	134
Le programme expérimental canadien	138
<i>Historique</i>	138
<i>Expériences de télécommunications</i>	145
<i>Expériences sociales</i>	147
<i>Expériences technologiques et scientifiques</i>	164
<i>Expériences en technologie spatiale</i>	166
Conclusion	168
<i>Chapitre cinq</i>	
<b>Épilogue</b>	<b>172</b>
<b>Glossaire</b>	<b>180</b>
<b>Chronologie</b>	<b>185</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>187</b>



## Avant-propos

Le lancement d'engins spatiaux, surtout par les États-Unis et l'Union soviétique, est devenu chose tellement courante que seules les réalisations extraordinaires retiennent maintenant notre attention. L'espace est littéralement devenu une nouvelle frontière et l'on se passionne partout dans le monde pour les découvertes et les exploits qui ont trait à ce domaine. Troisième pays ayant construit un engin, le Canada a rapidement joué un rôle important dans l'exploration spatiale. Neuf satellites canadiens sont déjà sur orbite autour de la Terre, tandis que d'autres attendent d'être lancés. Notre pays a très vite compris que les techniques spatiales constituaient la réponse à ses besoins; aussi en est-il devenu l'un des principaux utilisateurs.

Le présent document, qui explique comment nous avons choisi cette voie, décrit cinq entreprises spatiales mettant en jeu des satellites construits au Canada, le lancement du premier remontant à vingt ans. Il rappelle brièvement les efforts de recherche industrielle qui ont entouré ces programmes et relate leur remarquable réussite. Son objet est de consigner, avant que les souvenirs ne s'émoussent, initiatives et prouesses, et d'évoquer leur enjeu ainsi que l'esprit dans lequel elles se sont déroulées.

Depuis le début de l'ère spatiale, les progrès technologiques ont été phénoménaux et leurs applications font partie de notre vie quotidienne. C'est par satellite que nous voyons tous les jours des images météorologiques, par satellite aussi que des millions de téléspectateurs regardent sur leur écran des émissions et des bulletins d'information venant des quatre coins du monde. On oublie souvent la somme de recherches qu'il a fallu pour en arriver là; pourtant, les nouvelles applications dépendent de nos connaissances en matière d'espace et de technologie spatiale. Au début, le programme canadien était axé sur l'exploration d'une partie de l'espace appelée « ionosphère ». Mais il s'y est ajouté ultérieurement un élément capital, le développement et l'application de la nouvelle technologie pour les satellites de télécommunications. Ces travaux ont été à la base du programme spatial du Canada et sont ici relatés par deux chercheurs étroitement associés au secteur spatial du Centre de recherches sur les communications du ministère des Communications.

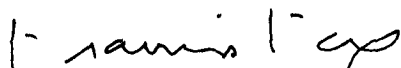
Irvine Paghis a dirigé, de 1962 à 1969, le programme scientifique entamé avec les quatre satellites d'exploration, puis est devenu directeur du programme de conception et de mise au point du satellite technologique de télécommunications. Théodore Hartz a été le chercheur principal des expériences sur le bruit cosmique effectuées avec les quatre satellites d'étude de l'ionosphère puis, après 1973, il a présidé le groupe de travail de ISIS. Nous présentons le point de vue de ces deux hommes sur ces programmes.

Les profanes devraient y trouver des renseignements utiles, notamment sur ce que nos satellites nous ont permis d'accomplir, la raison d'être de ces activités et quelques grandes étapes de leurs succès.

Un grand nombre de personnes, au gouvernement, dans le secteur privé et dans les universités, ont déployé tous leurs efforts pour ces satellites nationaux et c'est à juste titre que les Canadiens peuvent s'enorgueillir de leurs contributions. Si quelqu'un mérite ici une mention spéciale, c'est bien John H. Chapman. Décédé en 1979, alors qu'il occupait le poste de sous-ministre adjoint chargé de l'espace au ministère des Communications, il a été le principal architecte et le grand instigateur des activités spatiales du Canada pendant plus de vingt ans.

Les programmes ont été réalisés avec le concours de l'Administration nationale américaine de l'aéronautique et de l'espace et de concert avec plusieurs pays européens. Ils ont vu le jour grâce aux travaux de chercheurs au Canada et dans plusieurs autres pays du monde. À l'origine, ce secteur relevait du ministère de la Défense nationale, mais il est très vite apparu que les applications civiles de la technologie de l'espace l'emporteraient largement sur les utilisations militaires, surtout dans le domaine des télécommunications. Il était donc logique de le rattacher au ministère des Communications, lorsque ce dernier a été créé en 1969. Telle est, fort brièvement, la genèse du programme spatial canadien.

Le ministre des Communications,



Francis Fox

Ottawa, juillet 1982

1



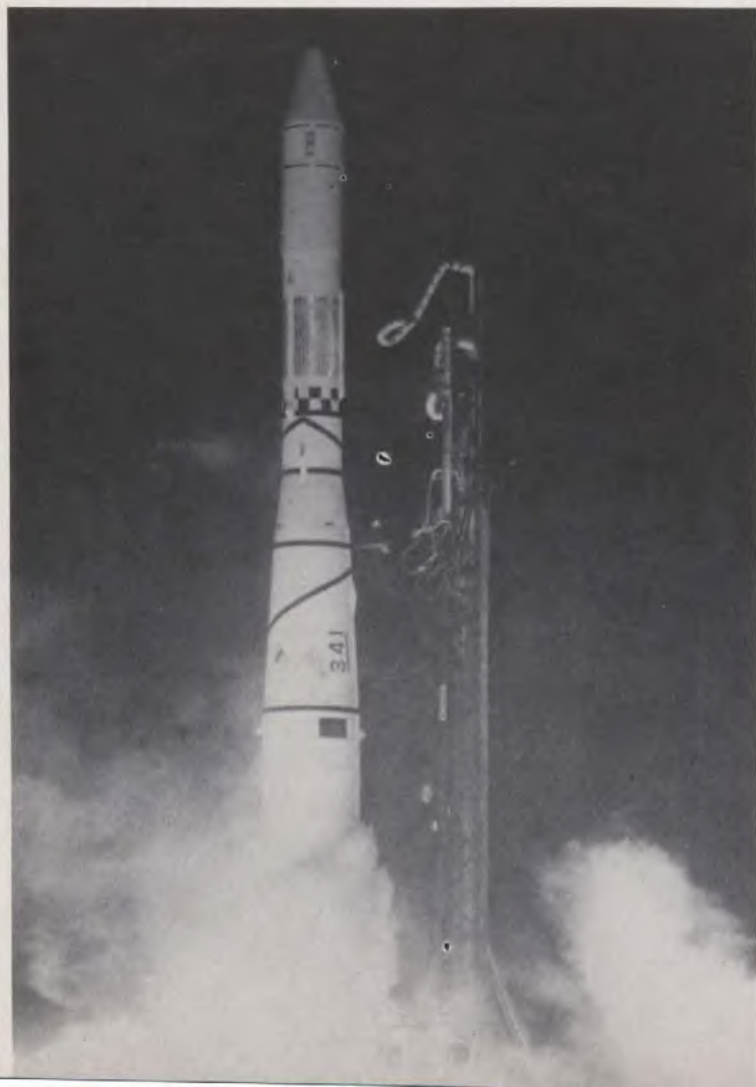
# Le Canada à la conquête de l'espace

## Introduction

Tard dans la soirée du 28 septembre 1962, alors que soufflait une brise venue du Pacifique, la fusée américaine Thor-Agena décollait de son aire de lancement dans le sud de la Californie, entraînant, dans un nuage de flammes oranges et blanches, le premier satellite canadien vers son orbite autour de la Terre, propulsant ainsi notre pays dans l'ère spatiale.

### Figure 1

Lancement d'Alouette I, le 29 septembre 1962. On date généralement les activités spatiales en temps universel (TU) : à l'heure locale, cet événement s'est déroulé dans la soirée du 28 septembre.

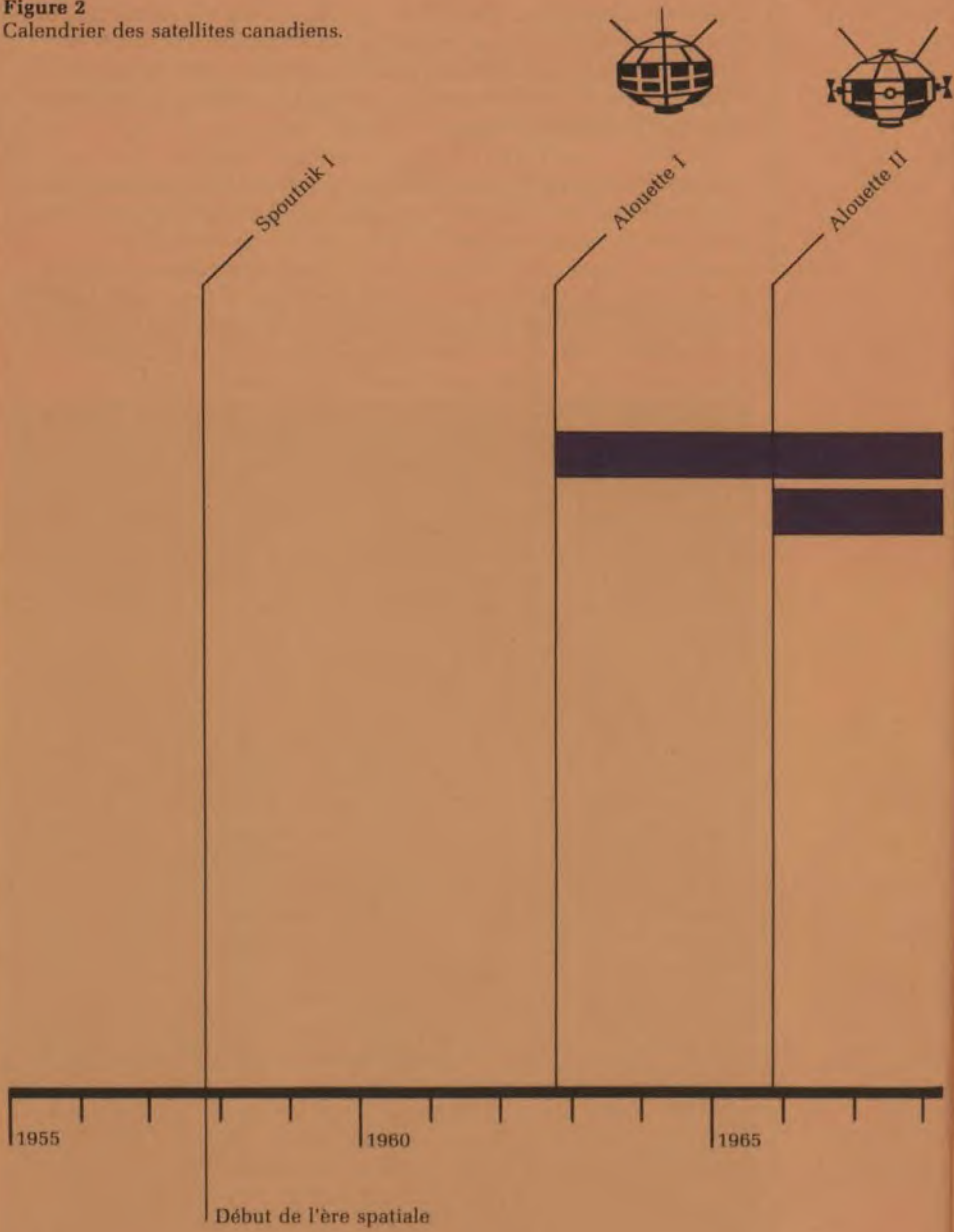


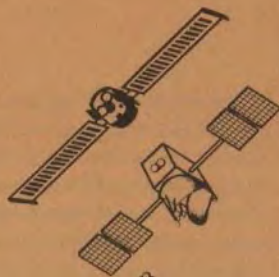
Quantité de satellites, dont huit canadiens, ont été lancés depuis ce soir mémorable. Aussi ne faut-il pas s'étonner que bien des gens aient oublié qu'Alouette a été le premier engin spatial entièrement conçu et construit par une nation autre que les États-Unis ou l'Union soviétique.

Pourquoi le Canada tenait-il tant à s'engager dans cette aventure aussi coûteuse que risquée? Compte tenu des ressources limitées qu'il était en mesure d'affecter aux recherches, avait-il des chances de jouer un rôle important? Quels avantages pouvait-il en attendre? Conditionnés, comme beaucoup d'autres Canadiens, à la nécessité de mettre à profit le développement technologique et industriel, il nous est facile d'apporter une réponse positive à ces questions. Les faits montreront que la contribution du Canada aura été importante et que sa participation lui aura procuré des avantages économiques substantiels. Nous avons maintenant mené à bien plusieurs programmes hors pair qui ont été acclamés nationalement et internationalement. Parmi ceux-ci, il faut citer Alouette-ISIS, qui comprenait quatre satellites canadiens, et Hermès. Ils ont réussi au-delà des espérances et ont été extrêmement bénéfiques. D'ailleurs, c'est en grande partie grâce à eux que le Canada a la place qu'il occupe dans le domaine spatial.

L'ère de l'espace a débuté il y a un peu plus de vingt ans quand l'Union soviétique et les États-Unis ont lancé les satellites Spoutnik et Explorer en 1957 et 1958. C'est à partir de ce moment qu'on a considéré l'espace comme un milieu unique. Ces deux événements ont aussi ouvert de nouveaux horizons technologiques, car ils témoignaient qu'outre l'exploration scientifique de l'environnement, des satellites pouvaient aussi servir à des applications pratiques. Le Canada a décidé rapidement de s'initier à cette nouvelle technologie et de l'utiliser, d'où la mise au point d'Alouette pour des recherches sur l'ionosphère. Le triomphe de cette entreprise, tant sur le plan scientifique que technique, a stimulé l'accroissement rapide des activités spatiales nationales. C'est aussi ce qui a décidé le gouvernement à faire appel au secteur privé afin d'augmenter la capacité industrielle du pays et de favoriser des applications profitables pour toute la population. Alouette a été suivi par une série de satellites expérimentaux appelés ISIS — satellites internationaux de recherches sur l'ionosphère — qui, avec deux autres de fabrication américaine, ont été les principaux éléments du programme Alouette-ISIS contrepris avec les États-Unis.

Figure 2  
Calendrier des satellites canadiens.





ISIS 1

ISIS 2

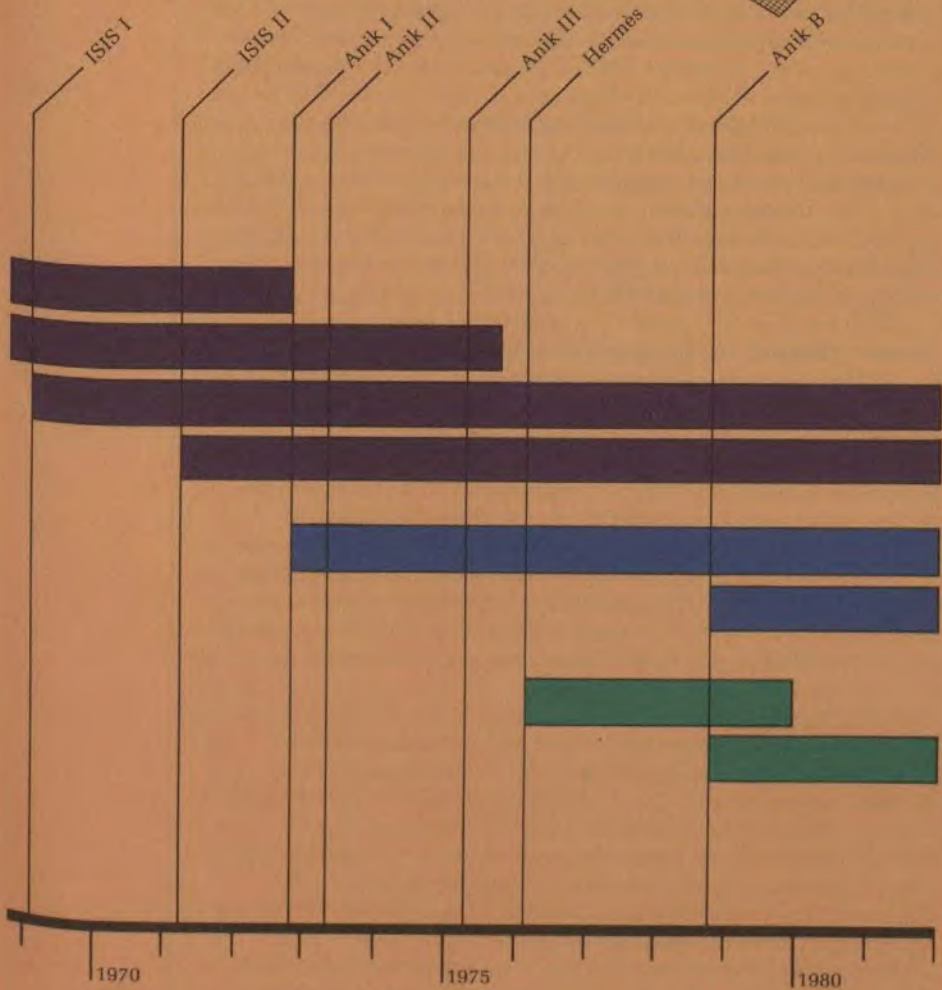
Anik 1

Anik 2

Anik 3

Hermès

Anik B

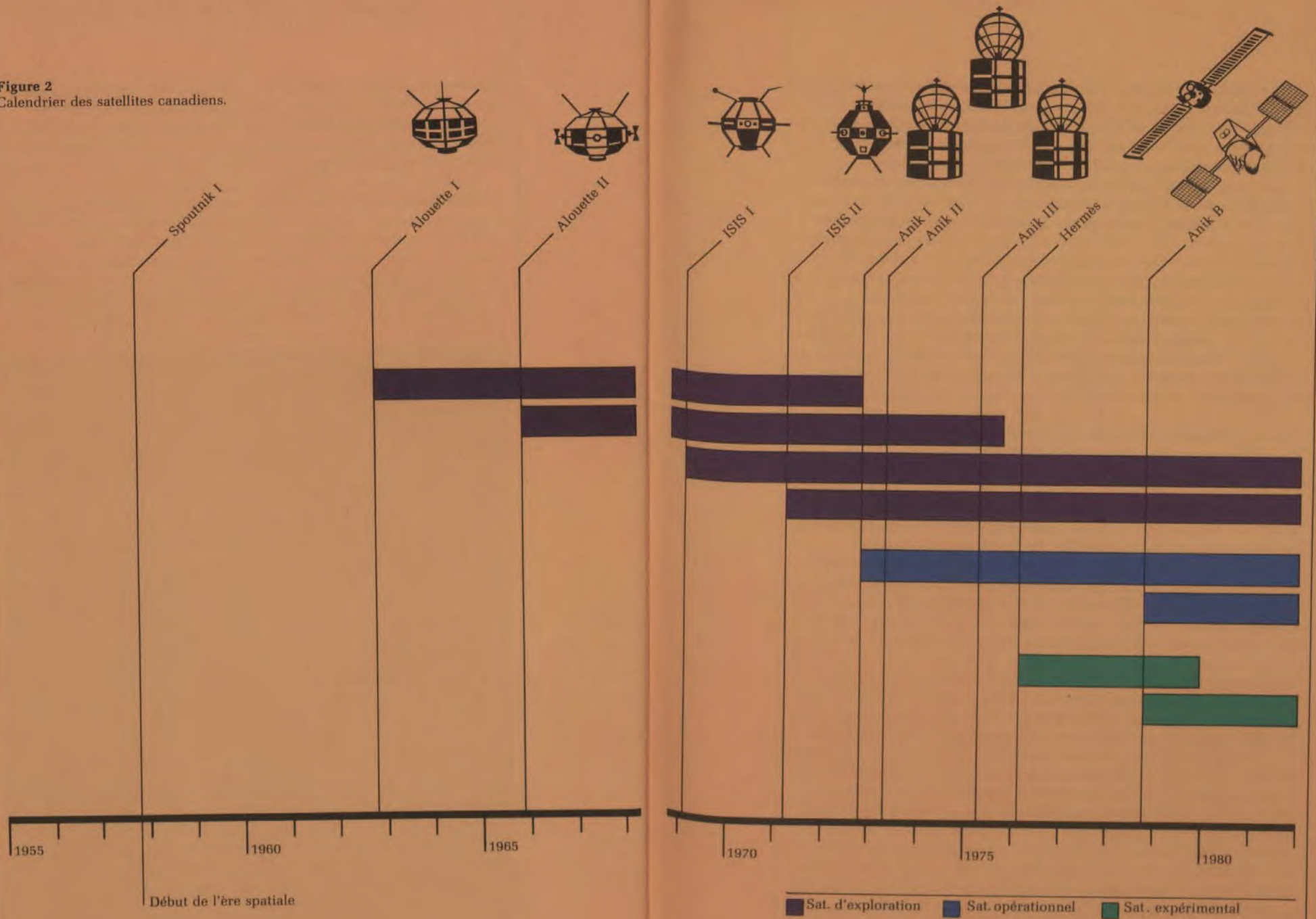


■ Sat. d'exploration

■ Sat. opérationnel

■ Sat. expérimental

Figure 2  
Calendrier des satellites canadiens.



Début de l'ère spatiale

■ Sat. d'exploration   ■ Sat. opérationnel   ■ Sat. expérimental

Avant même que celui-ci n'ait donné tous ses fruits, les autorités se sont lancées dans un nouveau programme expérimental canado-américain lié au satellite technologique de télécommunications, aujourd'hui mieux connu sous le nom d'Hermès. À la différence des objectifs purement scientifiques du premier programme, Hermès avait pour mission d'élaborer une nouvelle technologie pour les engins spatiaux et de l'appliquer aux systèmes de télécommunications. Lancé en janvier 1976, Hermès a servi, jusqu'en novembre 1979, à plusieurs expériences de télécommunications et de technologie afin de montrer l'intérêt de ces nouvelles technologies pour toute une gamme de services. La réussite des démonstrations a débouché sur un programme expérimental plus vaste utilisant des transpondeurs sur le satellite Anik B de Télésat Canada, lancé en décembre 1978. Ce dernier a remplacé la série précédente de satellites Anik A avec lesquels la Société avait inauguré, en janvier 1973, un service national de télécommunications par satellite.

Avant d'aller plus loin, il peut être utile de savoir que l'on classe les satellites en trois grandes catégories selon leur utilisation principale. Les satellites *d'exploration*, destinés à obtenir des renseignements de base sur certains aspects de notre environnement spatial; les satellites *expérimentaux*, destinés à mettre au point une technologie originale et à démontrer la faisabilité des techniques et activités nouvelles; les satellites *opérationnels*, destinés à assurer une fonction essentielle dans des activités ou des services comme les télécommunications ou la météorologie. Le groupe Alouette-ISIS appartient à la première catégorie, Hermès, à la seconde, et la série Anik A, à la troisième. Anik B est un satellite hybride mi-expérimental, mi-opérationnel.

En tant que pays industrialisé, le Canada s'est toujours soucié de sa position concurrentielle. Aussi le recours aux satellites Alouette-ISIS et Hermès pour stimuler les innovations et le développement de produits a-t-il été un grand objectif national. Par innovation, il faut entendre l'introduction d'un produit, procédé, dispositif ou service nouveau dans la vie quotidienne. Dans la plupart des cas, l'innovation comprend trois stades différents, qui donnent de meilleurs résultats lorsqu'ils se suivent de très près. Durant le premier, la *conception*, il s'agit de découvrir ou d'établir un phénomène ou un principe découlant généralement de travaux de recherche fondamentale. Le second stade consiste à employer les connaissances ou le principe en question et à les appliquer à un problème ou à un besoin social. C'est celui de la *définition*, qui correspond habituellement à la recherche appliquée ou au développement expérimental. Le troisième, enfin, revient à faire passer un produit ou un procédé

dans l'usage. Cette *mise en œuvre* repose la plupart du temps sur l'initiative d'hommes d'affaires et se décompose en développement, production, commercialisation et vente. Il arrive également que le gouvernement participe à la mise au point de produits et services nouveaux qui ne sont pas rentables à court terme, mais qui se justifient pour d'autres raisons, des avantages sociaux à long terme par exemple. Dans ces cas, les aspects production et commercialisation sont retardés jusqu'à ce que l'activité puisse s'autofinancer.

Les premiers travaux de recherche industrielle concernant les programmes Alouette-ISIS et Hermès se sont déroulés en grande partie dans les laboratoires du gouvernement fédéral. Mais, dès le début, les pouvoirs publics se sont systématiquement efforcés de combler le fossé technologique entre le gouvernement et l'industrie, non seulement dans le domaine des télécommunications, mais en technique spatiale en général. Ils voulaient en effet encourager une capacité industrielle qui créerait, le moment voulu, des produits et services de technologie de pointe rentables. À cet effet, le gouvernement a formé du personnel du secteur privé dans ses laboratoires spécialisés, constitué des équipes mixtes d'ingénieurs où se côtoyaient fonctionnaires et représentants de l'entreprise privée, et financé, avec des fonds fédéraux, la recherche et la mise au point industrielles.

Ces dispositions, ajoutées aux stimulants commerciaux ordinaires, ont entraîné depuis deux décennies un certain nombre de changements dans l'industrie canadienne et donné lieu à des innovations liées à la technologie spatiale. L'industrie a travaillé sur les neuf satellites canadiens, mais a aussi cherché des débouchés à l'étranger pour les composants et les sous-systèmes spécialisés fabriqués au Canada, comme, par exemple, les dispositifs STEM (élément d'antenne extensible tubulaire) conçus par la Spar Aérospatiale Limitée et les composants hyperfréquences de la Com Dev Limited. Ces produits ont joué un rôle important dans les projets spatiaux d'autres pays. Bref, les activités spatiales du Canada ont procuré de nouveaux marchés à l'industrie, lui permettant d'acquérir une très grande compétence dans de nombreuses spécialités relevant de cette technologie. Mais en raison du rôle que l'État continue à jouer dans la recherche industrielle, il y a peu de chances que le savoir-faire actuel, qui est le fait d'une équipe mixte composée de spécialistes gouvernementaux et du secteur privé, soit rapidement transféré à 100 p. 100 à l'industrie.

Cette publication décrit les débuts de la recherche spatiale au Canada. L'introduction présente nos centres d'intérêt et nos réalisations. Le second chapitre décrit quelques-uns des facteurs

environnementaux qui ont influé sur l'exploration et les applications spatiales. Les troisième et quatrième chapitres exposent les programmes Alouette-ISIS et Hermès en commençant chacun par une rétrospective, suivie par les diverses étapes de la mise en œuvre, jusqu'aux derniers résultats. Le cinquième chapitre reprend quelques réussites clés des deux programmes. Il s'est passé tant de choses depuis les premiers balbutiements, qui remontent à vingt-trois ans, qu'il est impossible de dresser un tableau complet. Aussi a-t-on pris le parti de ne proposer qu'un certain nombre de faits saillants. Et pour terminer, afin de lui faciliter la tâche, le lecteur trouvera un glossaire de termes techniques et d'abréviations, une chronologie des dates importantes ainsi qu'une bibliographie.

Cet ouvrage se place du point de vue canadien. Les programmes Alouette-ISIS et Hermès ont été entrepris de concert avec l'Administration nationale américaine de l'aéronautique et de l'espace (NASA), mais d'autres pays du globe y ont aussi participé activement. Dans le cas d'Alouette-ISIS, nous avons coopéré avec des organismes américains, britanniques, français, indiens, japonais, australiens, néo-zélandais, norvégiens et finlandais. Quant à Hermès, l'Organisation européenne de recherches

**Figure 3**

Présentation des drapeaux lors du lancement d'Alouette I.





spatiales (OERS) lui a apporté son concours environ deux ans après le début du programme. Quatre des six engins Alouette-ISIS et Hermès ont été conçus et construits au Canada, et toutes les opérations étaient dirigées d'Ottawa.

Le gouvernement fédéral a mené à bien le volet canadien des programmes en question dans son laboratoire de Shirley Bay, près d'Ottawa. Autrefois appelé Centre de recherches sur les télécommunications de la défense (CRTD) et relevant du Conseil de recherches pour la défense (CRD), cet établissement a été rebaptisé Centre de recherches sur les communications (CRC) lorsqu'il a été rattaché au nouveau ministère des Communications (MDC), créé en 1969. Plusieurs autres organismes et agences ont travaillé à différents aspects du développement et des études subséquentes. Quelques-uns des principaux participants sont cités au moment approprié dans cette publication, mais le manque de place ne nous permet malheureusement pas de rendre compte des efforts et des contributions des nombreux autres.

### **Récapitulation des recherches spatiales au Canada**

À cause de son étendue et de la dissémination de sa population, les satellites de télécommunications comportent pour le Canada des avantages manifestes. L'exploration des ressources, le repérage des glaces, l'observation météorologique et la cartographie se font beaucoup mieux à partir de l'espace qu'en recourant aux méthodes traditionnelles. Celles-ci présentaient tant de difficultés et coûtaient si cher que, par exemple, jusqu'en 1950, environ un quart seulement du territoire canadien avait été relevé de façon précise. Ces considérations, et ce qu'elles impliquaient pour la souveraineté de notre vaste territoire et des océans qui le bordent, étaient des sujets dont se préoccupaient déjà les autorités il y a vingt ans. Or, c'était l'époque des premières réalisations spatiales américaines et soviétiques.

Après le lancement réussi d'Alouette I, le gouvernement a compris qu'il y avait au pays même le savoir-faire voulu pour construire des satellites permettant ces applications. Il a néanmoins décidé de ne pas établir de bases de lancement au Canada en raison des énormes frais d'immobilisation que cela représenterait. Autrement dit, il n'y aurait pas de programmes spatiaux sans des accords internationaux avec la NASA ou une organisation similaire, comme dans le projet Alouette. Plus tard, le gouvernement a négocié des accords avec des partenaires internationaux non seulement pour le lancement des engins, mais pour diverses autres activités spatiales.

Dès le début de la conquête de l'espace, les Canadiens ont été actifs. La transition était relativement facile compte tenu de notre expérience antérieure avec les ballons en haute altitude et les fusées. Ayant suivi les transmissions de Spoutnik I, les chercheurs du CRTD ont été parmi les premiers du monde à calculer l'orbite de ce satellite. Plus tard, avec leurs collègues du Conseil national de recherches (CNR), ils ont relevé des données télémétriques concernant plusieurs satellites américains. Le moment venu, les deux groupes ont participé très largement aux expériences sur Alouette I. Mise au point et exploitation de ce satellite ont été une réussite sur toute la ligne, prouvant qu'il existait déjà un savoir-faire spatial dans les laboratoires de l'État.

**Figure 4**

Exploration de la haute atmosphère par fusée, Churchill (Manitoba).



Le gouvernement fédéral avait donc hâte de le voir servir à des applications devant répondre aux besoins et aux préoccupations de la population. C'est ainsi qu'il a décidé en 1963, à l'occasion du programme ISIS, de transférer la technologie à l'industrie. C'était un grand tournant, la première mesure importante d'une politique qui voulait encourager une capacité industrielle nationale en ces domaines.

Quelques semaines après le lancement d'Alouette I, des négociations ont été entreprises avec la NASA pour mettre au point un programme commun complémentaire visant à explorer méthodiquement l'ionosphère en utilisant diverses techniques expérimentales. Appelé ISIS, celui-ci nécessiterait une série de satellites que l'industrie canadienne élaborerait et construirait sous la direction générale du CRTD. La compagnie RCA Victor, de Montréal, a été retenue comme maître d'œuvre principal du premier satellite, la de Havilland Aircraft of Canada, de Toronto, étant son associée. Alouette II devait servir de terrain d'essai pour l'industrie et, dès septembre 1963, ses spécialistes se joignirent à l'équipe du CRTD. Tout avait été expressément organisé pour transférer le plus vite possible les connaissances ayant trait à la conception et au développement qu'avaient acquises les chercheurs et les ingénieurs du Centre.

Cette démarche a beaucoup progressé pendant la transformation du satellite de secours d'Alouette I en Alouette II et s'est poursuivie pendant les travaux sur ISIS I et ISIS II, dont le maître d'œuvre a été la société montréalaise RCA, à laquelle ont été confiés la gestion, la conception, la fabrication et les essais. La Spar Aérospatiale (Toronto) lui était associée pour certains aspects mécaniques de la conception. Le rôle du CRTD diminuait régulièrement avec chaque nouveau satellite, jusqu'à ce que l'entreprise privée accepte l'entière responsabilité du cahier des charges établi pour ISIS II. Comme on le verra plus loin, tous les satellites Alouette et ISIS ont eu une vie exceptionnellement longue et productive, attestant la compétence indubitable des industries concernées.

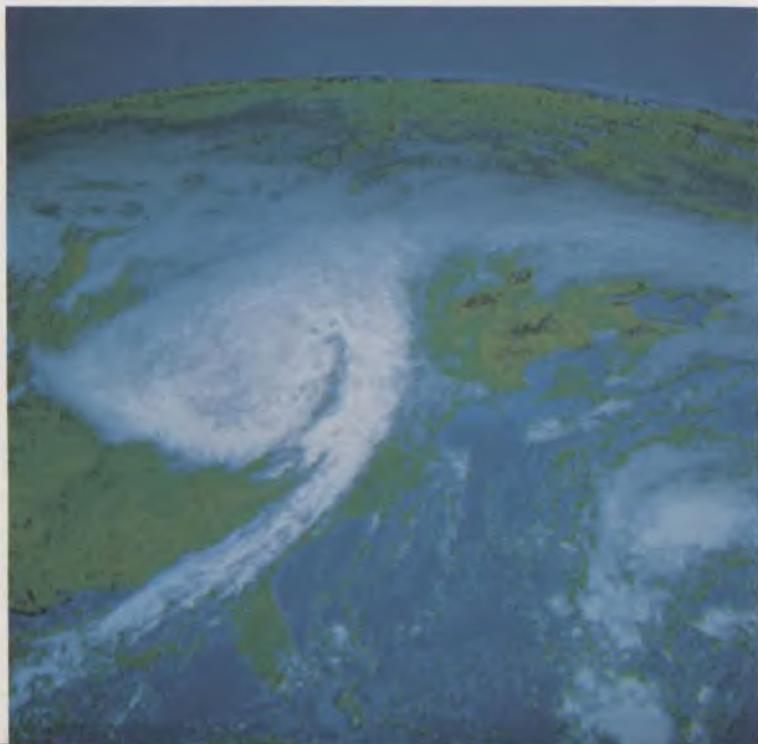
À l'époque des satellites de recherches sur l'ionosphère, le Canada s'est pris d'un intérêt croissant pour l'espace, tous les ministères rivalisant entre eux pour obtenir leur quote-part à cet égard. Les renseignements météorologiques ont tout de suite été un objectif visé, aussi le Service météorologique s'est-il allié dès 1964 au CNR pour mettre au point le matériel au sol pouvant recueillir les données fournies par les satellites américains de transmission automatique d'images. Par la suite, on a installé à Toronto et à Halifax du matériel construit par l'entreprise privée.

Depuis lors, les données envoyées par plusieurs satellites américains servent à la recherche, aux prévisions météorologiques et au repérage des glaces. La plupart des Canadiens trouvent maintenant tout à fait normal de voir tous les jours sur leur écran de télévision des photos météo provenant du satellite américain.

Comme nous l'avons déjà dit, les télécommunications par satellite ont rapidement suscité un très vif intérêt, mais les autorités ont estimé qu'il valait mieux profiter de ce qui existait déjà plutôt que de bâtir de toutes pièces un programme national distinct. Voilà pourquoi le ministère canadien des Transports signait, en août 1963, une entente avec la NASA concrétisant la participation du Canada aux essais relatifs aux satellites expérimentaux de télécommunications et l'engagement de construire une station au sol. Les premières expériences américaines sur orbite basse géostationnaire ont abouti au lancement de Syncom 3 en août 1964. L'existence d'une technologie éprouvée a donné naissance à un consortium international appelé Intelsat, en vue de développer les télécommunications internationales

**Figure 5**

Transcription en couleur d'une image fournie par satellite et montrant un système météorologique sur l'Atlantique. Reçue à Toronto du satellite géostationnaire opérationnel pour l'étude du milieu (GOES) américain.



par satellite. C'est la société de la Couronne Téléglobe Canada (à l'époque, la Corporation canadienne des télécommunications transmarines) qui est devenue la signataire de l'accord provisoire d'exploitation d'Intelsat. Elle gère trois stations terriennes pour les liaisons transatlantiques et transpacifiques grâce aux satellites géostationnaires d'Intelsat.

Dès 1966, la majorité des Canadiens avaient pris conscience de ce que le pays se trouvait engagé dans la filière spatiale et que le nombre d'applications pratiques possibles ne cessait de croître.

**Figure 6**

Station terrienne de Mill Village (Nouvelle-Écosse).



D'où la création, par le gouvernement canadien, d'un groupe d'étude chargé d'examiner les programmes sur la haute atmosphère et sur l'espace. En février 1967, ce dernier recommandait qu'on s'intéressât en priorité aux télécommunications intérieures et à l'exploration des ressources. C'était un changement radical d'orientation, puisqu'il s'agissait de donner la priorité aux applications techniques plutôt qu'à la recherche scientifique. Ce rapport devait jouer un rôle significatif dans la décision du gouvernement de clore le programme Alouette-ISIS avec ISIS II, au lieu de le poursuivre avec un autre satellite. La suite donnée aux recommandations a été observée d'un œil critique par l'entreprise privée et par divers groupes peu organisés mais fort intéressés. En 1969, le Parlement créa Télésat Canada, société mixte appelée à exploiter un système commercial de satellites de télécommunications à l'échelle nationale. Certains des meilleurs ingénieurs du programme Alouette-ISIS sont entrés à Télésat et ont contribué à dresser les plans de son premier système. Et trois ans plus tard, avec le lancement du premier Anik, en novembre 1972, le Canada devenait le premier pays du monde à exploiter à son profit un réseau de télécommunications par satellite géostationnaire. Deux autres satellites de la série Anik A ont suivi, en avril 1973 et en mai 1975, offrant chacun 12 voies commerciales dans la bande des 4-6 gigahertz. Dans son ensemble, le système dessert les clients canadiens grâce à plus de 100 stations terriennes disséminées sur le territoire national.

La structure principale et la charge utile électronique du satellite Anik A ont été respectivement fabriquées au Canada par Spar Aérospatiale et Northern Electric en sous-traitance pour la Hughes Aircraft, maître d'œuvre choisi par Télésat; Raytheon Canada et RCA Ltée fournissant pour leur part les premières stations terriennes.

Le satellite de télécommunications le plus récent de Télésat, Anik B, a été lancé en décembre 1978. Il dispose de 12 voies commerciales dans la bande des 4-6 GHz, complétées par 4 voies expérimentales en 12-14 GHz. Ces dernières sont louées par le ministère des Communications pour des essais en vraie grandeur, qui sont le prolongement de la série d'expériences et de démonstrations en télécommunications entamées avec Hermès et décrites plus loin.

Télésat a passé deux nouvelles commandes de satellites pour remplacer Anik A et Anik B qui commencent à se faire vieux. La série Anik C comprendra trois satellites à 16 voies fonctionnant en 12-14 GHz, dont le premier devrait être lancé en novembre 1982. La série Anik D sera composée de deux satellites

de 24 voies fonctionnant également en 12-14 GHz et dont le premier doit aussi être mis sur orbite en 1982.

L'établissement, en 1972, du premier système canadien de télécommunications par satellite était une entreprise de grande envergure exigeant la résolution d'innombrables problèmes. Pour réduire les coûts et disposer plus rapidement d'un réseau opérationnel, les responsables d'Anik A ont emprunté la technologie « toute faite » américaine des satellites Intelsat IV. Mais l'on savait déjà que la mise au point de satellites de forte puissance supposait de nombreux progrès technologiques auxquels nous nous devions de contribuer pour que notre industrie en tire des avantages. Voilà pourquoi, alors que Télésat s'engageait dans la filière Anik, le gouvernement donnait le feu vert à un nouveau satellite expérimental, le Satellite technologique de télécommunications (STT), aujourd'hui connu sous le nom d'Hermès. Il s'agissait d'une initiative aussi originale qu'audacieuse dont l'objet était de créer et d'éprouver une technologie de pointe. L'expérience a été réalisée en commun avec la NASA et visait à développer des satellites à grande puissance émettant dans la bande des 12-14 GHz qui, jusqu'ici, n'avait pas été utilisée pour cette application.

Ce programme a été entamé en 1970 et un certain nombre d'entreprises privées, dont Spar Aérospatiale et RCA Ltée, y ont participé. Le MDC a d'autre part signé un accord avec l'OERS qui s'engageait à fournir plusieurs sous-systèmes et composants avec l'aide de l'industrie européenne. Une fois ce satellite terminé, une partie des épreuves de fonctionnement et de simulation d'ambiance se sont déroulées au Laboratoire David Florida du CRC, appelé ainsi en l'honneur du premier directeur du programme STT. Ce nouvel établissement a été construit pour les essais de tous les sous-systèmes d'Hermès, mais comme il était à l'époque de dimensions restreintes, le personnel du CRC a réalisé les essais d'homologation du satellite assemblé dans les vastes installations de la NASA. Le Laboratoire David Florida a depuis été agrandi de façon que le Canada puisse faire le montage et la vérification de satellites de télécommunications complets.

Lorsqu'il a été placé sur orbite en 1976, Hermès était le satellite le plus puissant du monde dans sa catégorie, le premier à fonctionner dans la bande des 12-14 GHz et le précurseur d'une génération de satellites de radiotélédiffusion directe à domicile. Il a servi pendant presque quatre ans à des expériences destinées à recenser les besoins des Canadiens et des Américains dans les années 1980 et à y répondre, tout en fournissant démonstrations et évaluations.

Le rapport de 1967 du groupe d'étude avait mis en relief l'intérêt du Canada pour le relevé des ressources à partir de l'espace. Justement, on améliorait alors les capteurs des satellites météorologiques, et on a bientôt pu les employer pour obtenir des renseignements sur les caractéristiques naturelles de la surface de la Terre et leurs aspects économiques en vue de la gestion des ressources. Les États-Unis ont lancé en 1972 un satellite de reconnaissance des ressources de la Terre (ERTS), rebaptisé ensuite Landsat 1, le plaçant sur une orbite très inclinée afin qu'il puisse explorer le territoire de nombreux pays, dont le Canada. Désireux d'utiliser cette technique à ses propres fins, le Canada créait, dès 1971, le Centre canadien de télédétection (CCT) rattaché au ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. Avec l'aide du CRC, la grande station de radar située près de Prince Albert (Saskatchewan) a été transformée en laboratoire de réception des données pour Landsat 1, puis un centre de traitement a été créé à Ottawa pour produire les images provenant de ce satellite et de son successeur, Landsat 2. Une autre station a été construite ultérieurement à Shoe Cove (Terre-Neuve) pour compléter la couverture de la station de Prince Albert et desservir ainsi tout le pays. Le Canada a été le premier pays, après les États-Unis, à construire des stations terriennes pour capter les données des Landsat.

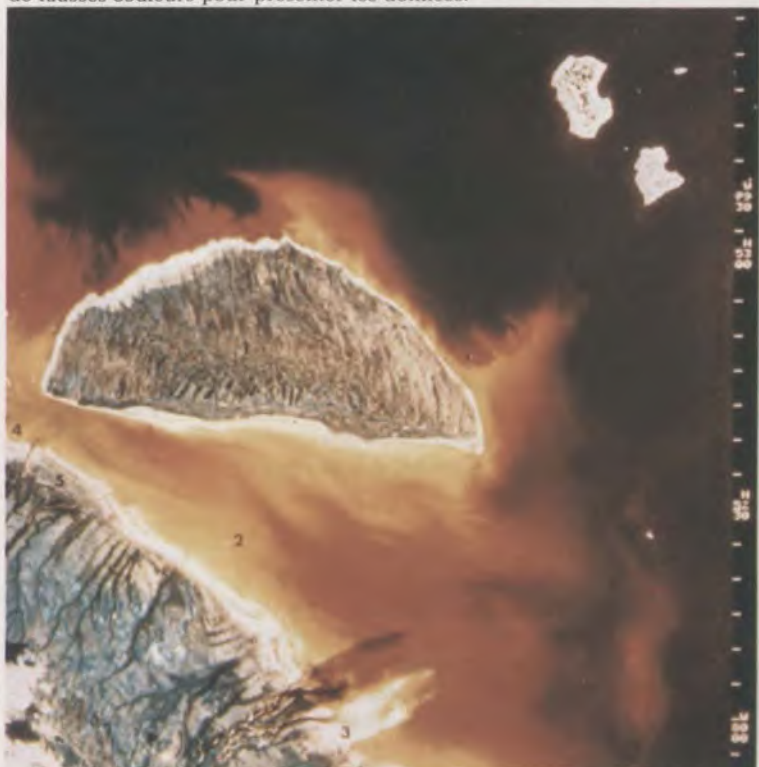
Le Canada a également participé au programme américain Seasat, où les capteurs d'un radar hyperfréquence expérimental permettaient de surveiller la surface de la mer et de fournir les derniers rapports sur l'état de la météo et de la mer. Ce radar à image, capable de percer le brouillard et les nuages, peut fonctionner dans l'obscurité, ce qui présente un intérêt tout particulier pour nous, étant donné la superficie de nos côtes, l'état des glaces dans l'Arctique et le littoral de l'Est, et les longues périodes d'obscurité de l'Arctique. Placé sur orbite en juin 1978, le satellite Seasat A a fonctionné quatre mois pendant lesquels il a fourni des données extrêmement utiles, prouvé l'efficacité de ce radar pour déterminer l'état des glaces et de la mer, et montré qu'il avait une capacité raisonnable de surveillance des navires. Le Canada a développé le traitement numérique et optique des données envoyées par ce satellite, produisant des images numériques possédant une bien meilleure résolution que les autres pays participants. Aujourd'hui encore, il est le principal fournisseur d'images de grande qualité. Aussi, les récentes annonces de subventions supplémentaires accordées par le gouvernement au titre de la technologie spatiale prévoyaient un poste « développement de la télédétection » pour la gestion des ressources et la surveillance.



En 1977, par le truchement du satellite de radioamateur, OSCAR, le Canada a prouvé la faisabilité de ce système de recherche et de sauvetage pour le repérage d'un avion accidenté. Effectués par le CRC, les travaux ont été financés par la Défense nationale. Plus tard, le Canada (représenté par le MDN), la France et les États-Unis se sont entendus sur un programme commun, le SARSAT, pour démontrer l'utilité des engins spatiaux dans la détection et la localisation d'avions ou de navires en détresse, grâce aux émissions des radiobalises de secours. Il faudra à cet effet les trois satellites météorologiques américains Tiros équipés de transpondeurs conçus et fournis par la Spar Aérospatiale aux termes de la composante canadienne du programme conjoint. La Canadian Astronautics Limited (Ottawa) construit pour sa part une station terrienne pour le

**Figure 7**

Image obtenue du satellite Landsat I montrant les dépôts de limon accumulés autour de l'île Akimiski, à la baie James. On a employé de fausses couleurs pour présenter les données.



Canada, quatre pour les États-Unis et certains éléments d'une autre pour la France. Un protocole d'accord distinct a été signé par les participants avec l'Union soviétique prévoyant la participation de ce pays aux démonstrations et à l'évaluation. L'URSS lancera donc au moins un satellite, appelé COSPAS, techniquement compatible avec le système SARSAT. L'objectif à long terme est de faire participer plus de pays pour arriver en fin de compte à instaurer un système accessible à l'échelle mondiale. Le groupe SARSAT a par ailleurs récemment signé un autre accord, en vertu duquel la Norvège agira à titre d'investigateur, tandis que le Royaume-Uni et le Japon ont déposé une demande officielle en vue d'avoir qualité, eux aussi, de pays investigateurs.

En 1969, les Américains avaient invité le Canada à participer à une navette spatiale, ce qui a débouché ultérieurement sur un accord commun entre le CNR et la NASA concernant un programme de collaboration sur un système de télémanipulateur (STM). Il s'agit d'un bras à plusieurs degrés de liberté commandé à distance et destiné à la navette pour permettre d'effectuer toutes sortes d'opérations dans l'espace et notamment le déploiement de satellites sur une orbite distincte et leur récupération. La conception, la mise au point, les essais et l'évaluation du STM ont été confiés au secteur privé sous la direction du CNR, la NASA étant, elle, chargée du raccordement du bras à la navette. Spar Aérospatiale Ltée, le principal maître d'œuvre, a été aidé par un groupe d'entreprises incluant CAE Electronics, RCA Ltée et Dilworth, Secord, Meagher and Associates. La mise au point a été l'œuvre d'ingénieurs et de techniciens canadiens, ce qui a permis de développer dans le pays un savoir-faire unique dans le domaine. Le premier appareil STM, communément appelé *bras canadien*, a été une réalisation entièrement canadienne et a fait ses preuves à la fin de 1981 et au début de 1982 lors des vols de la navette spatiale Columbia. La NASA procède actuellement à l'achat d'autres appareils.

Pour conclure ce sommaire, penchons-nous de nouveau sur la science de l'espace qui a donné en grande partie le coup d'envoi à nos activités spatiales. Plus de dix ans après le lancement d'ISIS II, notre dernier satellite de recherche spatiale, un nouveau programme de coopération a été récemment négocié avec la NASA. Le rôle du Canada comportera trois volets dans les missions de la navette, diverses observations au sol dans le cadre d'une étude capitale de la NASA sur l'origine du plasma dans l'environnement de la Terre et une participation aux avantages futurs du programme. Les scientifiques intéressés se trouvent dans divers

organismes universitaires et gouvernementaux. C'est le Centre canadien des sciences spatiales du CNR qui coordonnera et financera ces activités.

### **Organisation**

En dépit d'une des grandes recommandations du groupe d'étude sur les programmes spatiaux au Canada (1967), Ottawa ne possède pas d'agence spécialisée et n'a pu jusqu'ici d'administration centralisée à cet égard. Plusieurs services du gouvernement fédéral ont la responsabilité de programmes spatiaux importants qui sont élaborés en fonction des besoins spécialisés définis dans les objectifs des ministères. Le Comité interministériel sur l'espace (CIE) assure la coordination. Doté d'un secrétariat permanent, il relève pour l'instant du ministre d'État aux Sciences et à la Technologie et a trois sous-comités chargés des aspects internationaux, scientifiques et industriels de la politique spatiale.

Comme presque tout se fait en collaboration avec d'autres pays, le sous-comité des affaires internationales ne chôme pas. Entre autres tâches, il s'est occupé des utilisations pacifiques de l'espace et de l'observation par télédétection du territoire d'une nation par une autre. Il a aussi fort à faire en raison de la participation du Canada aux organisations internationales et à leurs programmes, dont l'Union internationale des télécommunications (UIT), Intelsat, la NASA, l'Organisation des télécommunications du Commonwealth, l'Agence spatiale européenne (ASE) et SARSAT.

Le sous-comité des aspects scientifiques de la politique spatiale du CIE, qui est aussi le Comité associé sur la recherche spatiale du CNR, conseille à la fois le CIE et le CNR et voit entre autres aux besoins particuliers des chercheurs canadiens. Le CNR vient de créer le Centre de science spatiale du Canada (CSSC) pour coordonner les travaux des nombreux groupes de chercheurs des divers ministères et universités. De son côté, le sous-comité des aspects industriels a pour mandat d'élaborer des stratégies pour le maintien et l'expansion d'une industrie spatiale viable au Canada.

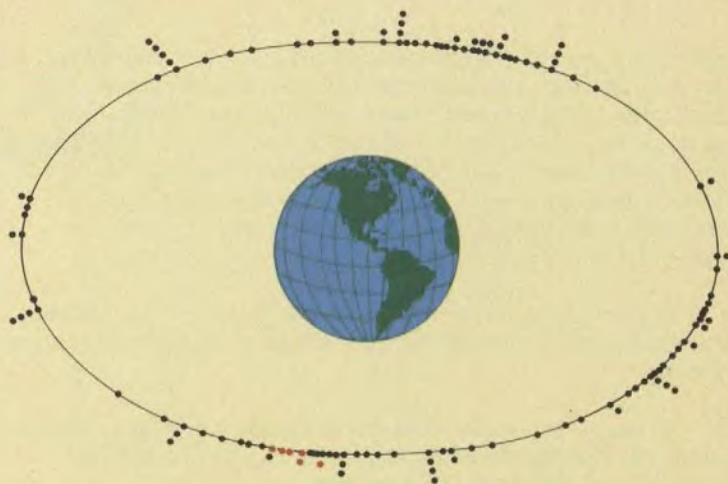
### **Télécommunications spatiales**

Les télécommunications par satellite n'ont plus rien de nouveau. Après vingt ans, nous sommes blasés. La retransmission en direct sur nos téléviseurs des grands événements ou des manifestations sportives du monde entier nous paraît banale, qu'il s'agisse du vol inaugural de la navette spatiale américaine Columbia ou d'un tournoi de golf au Japon!

Les premières expériences de télécommunications par satellite employaient des réflecteurs *passifs*, pour éviter d'avoir à inventer tout de suite des dispositifs électroniques et des systèmes d'alimentation électrique capables de fonctionner de façon fiable dans l'espace. Le programme américain ECHO, datant de la fin des années 1950, utilisait de grands ballons recouverts d'aluminium sur des orbites de faible altitude. Deux stations terriennes pouvaient ainsi communiquer régulièrement, mais brièvement, entre elles quand un ballon ECHO était en visibilité directe des deux stations. À peu près à la même époque, le CRTD avait utilisé une méthode comparable en faisant de la Lune, satellite naturel à très haute altitude, un réflecteur passif. Dans ce cas, lorsque la Lune était en visibilité directe des deux stations, ces dernières pouvaient communiquer entre elles pendant des périodes beaucoup plus longues.

Au début des années 1960, la technologie spatiale s'était suffisamment développée pour permettre la conception de satellites *actifs* capables de recevoir des signaux des stations terriennes, de les amplifier et de retransmettre l'information. Le Telstar I américain, par exemple, a acheminé les premiers signaux télé transatlantiques en 1962. Les satellites étaient à une altitude relativement peu élevée (inférieure à 5 000 km) et n'étaient en visibilité directe simultanée pour les stations européennes et nord-américaines que quelques minutes par passage orbital.

Pour obtenir des communications satellisées continues entre deux stations fixes, il faut lancer un nombre suffisant d'engins pour qu'il y en ait toujours au moins un visible de deux stations, ou en placer un sur une orbite *géostationnaire*. On est parvenu à mettre au point et à appliquer ces deux méthodes : le système à plusieurs satellites de l'Union soviétique et le système géostationnaire américain. Depuis dix ans, il est devenu de plus en plus évident que ce dernier présente des avantages économiques et opérationnels bien supérieurs pour les télécommunications. Il est donc maintenant adopté presque exclusivement par les pays utilisateurs.



**Figure 8**  
Positions orbitales actuelles des satellites géostationnaires.

Étant donné que les télécommunications modernes ne peuvent se passer de systèmes interconnectés (câble, radio, téléphone, etc.), surtout dans un pays aussi vaste que le Canada, il est évident que les systèmes spatiaux doivent avoir une interface et coexister avec d'autres moyens. La politique du gouvernement fédéral suit un grand principe — au Canada, réseaux et services doivent appartenir à des Canadiens et être réglementés. Il en découle deux grandes lignes de conduite précises :

- a) Le gouvernement encourage la mise en place d'un réseau de télécommunications par satellite efficace et intégré aux réseaux existants.
- b) Le gouvernement favorise le développement d'une capacité industrielle canadienne pouvant fournir au pays les satellites spécialisés qui répondent à ses besoins.

Le moins que l'on puisse dire, c'est que les structures qui dispensent les services de télécommunications et les organismes qui les réglementent sont complexes, mais pour notre propos, il n'est pas nécessaire d'entrer dans les détails.

Téléphone, télévision, radio, transmission de données et autres services de télécommunications sont entre les mains d'entreprises privées et publiques dont certaines sont réglementées par les provinces, et d'autres, par le fédéral. Les services interurbains sont coordonnés par une association de sociétés téléphoniques, le Réseau téléphonique transcanadien (RTT) auquel fait concurrence, surtout pour les services commerciaux, le réseau Canadien National/Canadien Pacifique (CNCP). Le Canada possède trois réseaux terrestres à hyperfréquences d'un océan à l'autre. Deux sont exploités par des membres du RTT, le troisième, par CNCP. Téléglobe Canada, société de la Couronne, est chargée des télécommunications internationales de tous genres. Quant à Télésat, société commerciale appartenant à parts égales au gouvernement et aux télécommunicateurs membres du RTT, elle est responsable des services intérieurs de télécommunications par satellite.

2

# L'environnement spatial

Les satellites lancés par l'homme autour de la Terre doivent fonctionner dans un milieu extrêmement complexe et rempli d'inconnues. Contrairement à la croyance générale, l'espace n'est pas vide. Bien que ce soit en quantité extrêmement faible, il renferme des corps gazeux, et un certain nombre de phénomènes différents de ceux que l'on observe communément sur la Terre se produisent dans ce milieu proche du vide. Notre compréhension de ce qui se passe dans cette région a remarquablement progressé depuis la première mise sur orbite d'un satellite.

Le présent chapitre décrira brièvement certaines des caractéristiques du milieu spatial qui ont conditionné l'élaboration des premiers satellites. Laissant de côté les engins spatiaux envoyés vers Mars ou Jupiter par exemple, on ne traitera que des satellites sur orbite terrestre, de l'environnement terrestre, de la nature générale des orbites de satellisation et des interactions entre les satellites et le milieu spatial.

## L'environnement terrestre

La Terre s'inscrit dans un environnement aussi étendu que complexe. Elle est entourée d'un champ de gravitation, d'un champ magnétique et d'une immense atmosphère gazeuse. La connaissance de ces trois composantes est essentielle à la compréhension des phénomènes physiques intervenant au voisinage de la Terre, en particulier dans la partie de l'espace que nous connaissons sous le nom d'ionosphère. L'environnement solaire est également fort important à cet égard, car il influe sur celui de la Terre avec lequel il se confond en très haute altitude.

Il y a plusieurs façons d'examiner l'environnement de la Terre. L'observateur bien planté sur notre sol sait que la densité et la pression atmosphériques diminuent systématiquement au fur et à mesure qu'augmente la hauteur parce que l'influence de la gravité s'atténue. Il sait que des changements se produisent dans la composition de l'atmosphère au-delà d'une certaine altitude, alors que les molécules s'y dissocient en atomes sous l'action des rayons ultraviolets émis par le Soleil. Ces ultraviolets peuvent ioniser les atomes et même certaines molécules, c'est-à-dire libérer un de leurs électrons, remplaçant les particules neutres par autant d'ions à charge positive. Toujours soumis à la gravité, les électrons libérés et les ions positifs entrent eux aussi dans le champ magnétique terrestre qui, dans une large mesure, règle leurs mouvements.



La caractéristique essentielle du champ magnétique terrestre est sa bipolarité largement comparable à celle d'un barreau aimanté. On a l'habitude de la représenter par des lignes de forces magnétiques formant de grands arcs unissant les deux pôles. Dans la haute atmosphère, les particules chargées tournent en spirale le long de ces lignes. Tant que la densité de l'atmosphère reste suffisante pour provoquer entre elles de fréquentes collisions, les ions et les électrons forment un *magma* et le captage des particules individuelles par le champ magnétique ne joue plus un grand rôle. Plus haut, les collisions sont moins fréquentes et l'influence du champ devient déterminante dans leur distribution. Il y agit comme une trieuse séparant les ions et les électrons associés à la Terre de ceux qui vont naviguer librement dans les espaces interplanétaires.

La région où les ions s'accumulent porte le nom d'ionosphère : elle n'a pas de frontières, pas de limites précises. Milieu dynamique, les particules neutres y sont ionisées et les ions s'y recombinaient en particules neutres. Le degré d'ionisation change suivant les heures et les endroits sous l'influence de divers facteurs, dont le rayonnement solaire, la composition atmosphérique, la pression et la température. À un degré plus ou moins grand, l'ionisation intervient en général aux altitudes allant de 60 km à 10 rayons terrestres. Les marges entre lesquelles se produit ce phénomène dépendent de facteurs arbitraires : la limite basse se situe là où la densité de l'atmosphère ne permet pas une pénétration des ultraviolets se traduisant par une ionisation mesurable; la limite haute est celle où l'atmosphère est si ténue que les particules à ioniser se font rares. La concentration maximale des ions — le nombre de particules chargées par unité de volume — s'établit entre ces deux extrêmes, dans la région dite de *densité électronique maximale* qui se situe généralement à une altitude de 300 km environ.

Si notre observateur pouvait se déplacer pour scruter l'atmosphère terrestre du haut de l'espace, il se rendrait tout de suite mieux compte de l'influence du Soleil. De celui-ci s'échappent en permanence des particules chargées qui constituent ce que l'on appelle le vent solaire. Recouverte de son manteau magnétique, la Terre fait obstacle à ces filets de particules chargées qui, collectivement, constituent ce que l'on appelle un *plasma* et ne pénètrent que difficilement le champ géomagnétique, sauf dans deux régions limitées au voisinage des pôles. Le vent solaire a cependant suffisamment de force pour déformer le champ magnétique dans les régions supérieures et modifie en permanence sa configuration bipolaire en le comprimant quelque peu du côté ensoleillé de la Terre et en l'étirant profondément sous forme d'une longue queue du côté de la nuit. Les interactions entre le

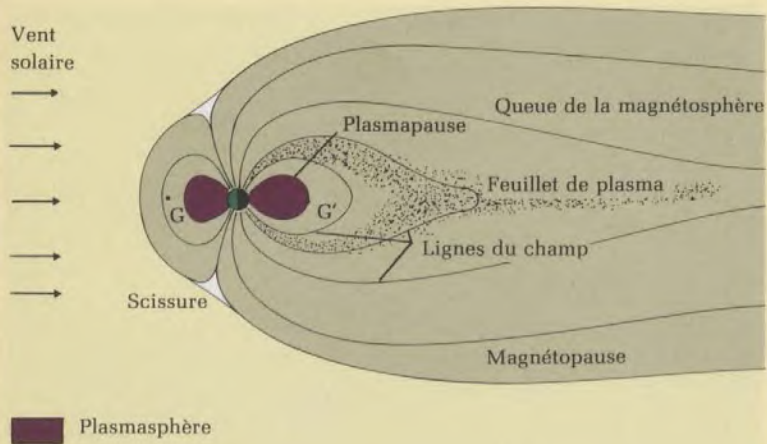
vent solaire et la *magnétosphère* terrestre — ainsi que l'on nomme cette chape magnétique étirée — sont compliquées, en grande partie à cause des variations continues de la pression ou des rafales de vent solaire. Par un phénomène encore peu compris, certaines particules solaires et les effets de leurs interactions se répercutent le long des lignes du champ magnétique, ce qui se traduit, aux latitudes élevées, par un certain nombre de manifestations dont des modifications de la partie inférieure de l'ionosphère, notamment des orages magnétiques et des aurores boréales visibles.

Le champ géomagnétique peut capter les particules à haute énergie, essentiellement comme il le fait avec les particules à faible charge énergétique. Ces *rayons cosmiques*, comme on les appelle traditionnellement, forment autour de la Terre des couches très denses que l'on a baptisées « ceintures de radiations ». Appelées communément ceintures de Van Allen, du nom de celui qui les a découvertes, ces couches sont essentiellement des régions où les particules énergétiques provenant de la queue de la magnétosphère ou du Soleil tournent en spirale le long des lignes du champ magnétique unissant les deux hémisphères terrestres. Leur angle de rotation — l'angle du pas — varie suivant les endroits avec l'augmentation du champ magnétique, de sorte que les particules passent alternativement d'un mouvement hélicoïdal à un mouvement circulaire. Elles vont et viennent en tourbillonnant entre les hémisphères tout en continuant à tourner en spirale le long des lignes du champ. Elles en restent donc prisonnières jusqu'à ce que se produise une collision qui leur fait perdre leur énergie et les fait entrer dans le monde des ions.

Certains des problèmes de recherche les plus passionnants de la physique ont trait à la magnétosphère, à ses relations avec le vent solaire et le champ magnétique interplanétaire, aux processus qui s'y attachent et à ses interactions avec l'atmosphère dense qu'elle recouvre. De ce point de vue, l'ionosphère constitue une transition entre l'atmosphère neutre et la magnétosphère. Elle est d'une part semblable à l'atmosphère en ce sens que sa concentration en particules est élevée, d'où des collisions tellement fréquentes que les transports d'ions n'ont qu'une importance secondaire dans le cadre des phénomènes d'ionisation et de recombinaison. D'autre part, les ions de sa partie supérieure, en particulier dans les régions polaires, peuvent circuler assez librement le long des lignes du champ magnétique, ce qui donne à ces régions des propriétés semblables à celles de la magnétosphère.



**Figure 9**  
Aurore boréale à Churchill (Manitoba).



**Figure 10**  
 Coupe de la magnétosphère. Situés à environ 6 rayons terrestres, les points G et G' marquent approximativement l'emplacement des satellites sur leur orbite géostationnaire.

La figure 10 donne une représentation de la magnétosphère. On y voit une coupe de la Terre et de la partie proche de la queue de la magnétosphère. Y figurent les lignes du champ géomagnétique. Sur une distance égale à un ou deux rayons terrestres, celles-ci ont la forme caractéristique des lignes de champ d'un aimant bipolaire. À très haute altitude, la figure montre leur allongement en une longue queue du côté de la nuit terrestre et leur légère compression du côté du jour. Parmi les autres caractéristiques, on notera, dans l'ordre, la *scissure* qui marque la séparation entre les lignes de champ resserrées du côté ensoleillé et celles qui s'étirent au loin dans la queue; la *plasmaphère*, zone de plasma dense où les lignes de champ se modifient peu, quelle que soit l'heure du jour; la *plasmopause*, couche externe de la plasmaphère; le *feuillelet de plasma*, qui est la partie interne de la queue, mitoyenne du feuillelet; et, enfin, la queue *magnétosphérique*.

La configuration du champ géomagnétique ayant un effet dominant sur la plupart des processus physiques intervenant dans la magnétosphère et la haute ionosphère, les observateurs ont trouvé pratique d'utiliser pour les étudier un système coordonné basé sur le champ magnétique. Ils font largement référence à la *latitude géomagnétique*. Ramenée à l'essentiel, cette méthode s'appuie sur l'hypothèse d'un champ bipolaire dont les deux pôles sont situés à la surface de la Terre et par rapport auxquels on mesure uniformément les latitudes. Dans les cas où la non-uniformité du champ magnétique est considérée comme un facteur important, on emploie souvent, à la place de la latitude géomagnétique simple, le système *invariant de latitude* qui tient compte des variations du champ. La distinction entre les deux systèmes est toutefois habituellement minime.

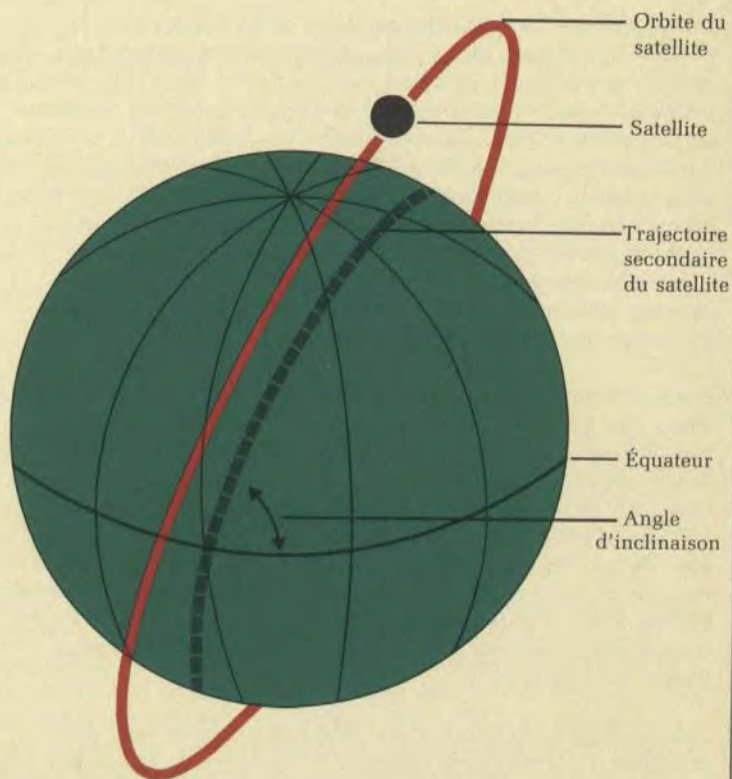
Les régions présentant un intérêt particulier pour le programme Alouette-ISIS s'étendent de 100 à 3 500 km environ d'altitude. On considère en général qu'elles englobent l'essentiel de l'ionosphère et que la magnétosphère se situe beaucoup plus loin. La distinction n'est cependant pas toujours très précise, surtout dans les régions polaires où le champ géomagnétique est presque vertical. Les mesures effectuées dans ces régions par les appareils embarqués à bord des satellites conduisent souvent à des interprétations qui vont bien au-delà du voisinage immédiat de l'engin spatial. Mis sur orbite à une altitude de 36 000 km, le satellite Hermès évolue par contre en plein centre de la plasmaphère et de la magnétosphère.

## Les orbites de satellisation

On a quelquefois peine à comprendre que les satellites placés sur orbite ne retombent pas. Cela semble en effet incroyable. En réalité, le mouvement de ces satellites est une chute continue dans le champ gravitationnel terrestre. De la même manière qu'un obus tiré à l'horizontale du sommet d'une colline retombe sur le sol après avoir décrit une trajectoire doucement incurvée, un satellite lancé horizontalement par une fusée puissante décrit une trajectoire et retombe peu à peu sous l'influence de la gravité. Si la vitesse de la fusée est telle que la courbure de cette trajectoire correspond à celle de la Terre, l'engin spatial gravite autour de celle-ci : il est alors en orbite. La fusée doit bien entendu d'abord faire sortir le satellite de l'atmosphère terrestre dense avant de l'injecter littéralement dans l'orbite choisie. La vitesse de cette injection est fondamentale : telle vitesse se traduira par une orbite circulaire; telle autre, plus faible, ne permettra pas une mise sur orbite stable et le satellite retombera sur la Terre; telle autre, plus élevée, donnera une orbite elliptique qui fera régulièrement passer le satellite d'une altitude minimale, appelée le périégée, à une altitude maximale, que l'on nomme l'apogée.

Quelques-uns des paramètres de base entrant dans la détermination d'une orbite particulière sont le poids total de l'engin, les capacités de propulsion de la fusée — qui est liée à sa charge en carburant — et la direction du lancement par rapport à la rotation de la Terre. On emploie presque toujours des fusées à étages multiples dont le premier propulse le satellite hors de la basse atmosphère dense, et le dernier fournit la poussée finale au bon moment et dans la bonne direction pour placer l'engin sur l'orbite voulue. Le choix de celle-ci est toujours fonction de la mission impartie au satellite. Dans le cas d'Alouette I, dont les opérations devaient se dérouler à des latitudes élevées, l'angle entre le plan orbital et l'équateur choisi était voisin de  $80^\circ$  (voir figure 11).

Alouette I suivait une orbite presque exactement circulaire à une altitude d'environ 1 000 km. Cette inclinaison orbitale de  $80^\circ$  lui permettait donc d'explorer toutes les latitudes à l'exception d'un cercle réduit autour de chacun des pôles terrestres. Sa période orbitale — le temps qu'il lui fallait pour faire le tour complet de la Terre — était d'environ 105 minutes au cours desquelles la Terre avait de son côté tourné d'à peu près  $26^\circ$  en longitude. La période des satellites placés sur une orbite circulaire augmente avec l'altitude. À environ 36 000 km, elle est de 24 heures. Plus haut, elle s'allonge encore. Celle de la Lune, qui nous contemple à 384 400 km, est approximativement de 29 jours.



**Figure 11**  
Diagramme d'un satellite sur une orbite elliptique autour de la Terre.

La coïncidence des périodes orbitales de 24 heures avec la période de rotation de la Terre est souvent très utile. Ainsi, un satellite se déplaçant vers l'est sur une orbite de ce type avec une inclinaison de  $0^\circ$  fera le tour de la Terre directement au-dessus de l'équateur et paraîtra stationnaire, ou à peu près, à un observateur terrestre. C'est un satellite dit *géostationnaire*, qui se range dans la catégorie des satellites *synchrones*. Ils peuvent cependant être l'objet de perturbations mineures les écartant quelque peu de la position choisie. Cette dérive se corrige habituellement grâce à de petits propulseurs embarqués qui peuvent également servir à modifier la longitude d'un satellite géostationnaire sur orbite équatoriale.

Avec une inclinaison orbitale s'éloignant de  $0^\circ$ , ce même satellite ayant une période de 24 heures semblera passer au nord et au sud de l'équateur à une longitude à peu près constante, entre des latitudes dont les limites correspondent au degré de l'inclinaison. Une autre orbite synchrone utile est l'orbite elliptique de 12 heures, 500 km de périégée et 39 000 km d'apogée, et à inclinaison prononcée. Durant les 7 ou 8 heures au cours desquelles un satellite de ce type quitte son apogée et approche de la Terre à une vitesse décroissante, il reste très haut dans le ciel pour un observateur installé à une latitude élevée et traverse très lentement son champ de vision.

Les possibilités de choix d'une orbite pour un satellite sont multiples et ce choix est chaque fois fonction de la mission. Le principal avantage économique d'un satellite géostationnaire est qu'il permet d'équiper les stations terrestres qui lui sont associées de simples antennes fixes, alors qu'il faut de coûteuses antennes orientables pour la plupart des autres. Le satellite géostationnaire ne permet cependant pas de couvrir la totalité du globe, il ne dépasse pas une latitude d'environ  $80^\circ$ . Les télécommunications et la télédétection des ressources terrestres exigent d'autres orbites.

La figure 12 indique, en gros, les orbites des quatre satellites canadiens du programme Alouette-ISIS. Destinés à l'exploration de l'ionosphère, ils ont été mis sur orbite à des altitudes et des latitudes correspondant à cet objectif. Satellite technologique de télécommunications, Hermès a par contre été placé sur une orbite géostationnaire et avait été au départ mis en position à une longitude de  $116^\circ$  ouest, afin que ses antennes puissent couvrir toute une série d'endroits au Canada et aux États-Unis. À noter ici que les satellites soviétiques de télécommunications Molniya ont été placés sur orbites synchrones de 12 heures.



**Figure 12**

Liste des satellites canadiens du programme Alouette-ISIS.

	Date de lancement	Cessation des activités	Périgée & apogée (km)	Inclinaison (°)
Alouette I	29 sept. 1962	30 sept. 1972	996-1 032	80,5
Alouette II	29 nov. 1965	1 <sup>er</sup> août 1975	502-2 982	79,8
ISIS I	30 janv. 1969	—	574-3 522	88,4
ISIS II	31 mars 1971	—	1 355-1 424	88,1

### L'environnement et les satellites

Bon nombre de facteurs liés à l'ambiance influent sur le comportement des satellites. Avec les années, les ingénieurs ont appris à en tenir compte. Voyons ce qu'il en est des contraintes de ce genre ayant présidé à la conception et au fonctionnement des satellites Alouette, ISIS et Hermès.

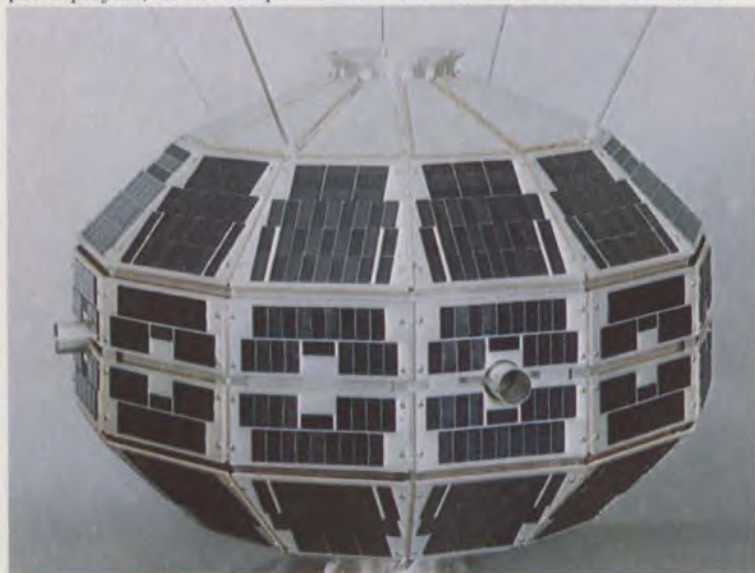
Il est nécessaire de stabiliser les satellites sur orbite afin que leur orientation permette un fonctionnement optimal du matériel embarqué. Dans le cas des quatre satellites ionosphériques, cela avait été obtenu en leur imprimant une rotation de deux ou trois révolutions par minute. Pour Alouette I, ce taux de rotation a diminué bien plus vite que prévu, ce qui lui a fait perdre prématurément sa stabilité. Fort heureusement, cela ne l'a pas perturbé gravement et il a continué à fournir des données d'excellente qualité. Cet ennui imprévu était apparemment dû à la distorsion thermique des longues antennes bipolaires, au rayonnement solaire, à la pression et à la résistance atmosphériques. Les antennes d'Alouette II furent garnies à leur extrémité de plaques réfléchissantes, ce qui a permis de réduire les pertes de vitesse de rotation. En ce qui concerne les ISIS, les ingénieurs en garnirent le pourtour de bobines spéciales qui pouvaient accélérer le taux de rotation de l'engin spatial en y faisant passer un courant électrique. Ces bobines servaient également à modifier l'orientation de l'axe de rotation.

Le satellite Hermès était doté d'un système de stabilisation sur trois axes qui lui donnait une orientation fixe. Ce système, qui comportait un volant d'inertie et de petits propulseurs à hydrazine, corrigerait les erreurs de pointage enregistrées par des détecteurs d'orientation dirigés vers la Terre et le Soleil.

Tous ces satellites étaient alimentés en énergie par des batteries que chargeaient de nombreuses photopiles. Pour les Alouette et les ISIS, celles-ci étaient disposées en panneaux montés à la surface de chacun des engins et fonctionnant à tour de rôle durant chacune des révolutions du satellite. Pour Hermès, les photopiles étaient installées en longues structures en forme d'ailes situées de part et d'autre de l'engin. Ce dernier ayant une orientation relative fixe par rapport au sol, les panneaux tournaient une fois sur eux-mêmes en 24 heures, de façon à toujours faire face au Soleil. Il y avait bien entendu pour les deux types d'orbite des moments où le Soleil était éclipsé par la Terre. Les photopiles ne produisant plus de courant durant ces intervalles, le fonctionnement des engins reposait alors entièrement sur les batteries.

**Figure 13**

Alouette I recouvert de photopiles. Ses longues antennes bipolaires ne sont pas déployées, on ne voit que les antennes de télémétrie et de commande.



La gamme de températures à l'intérieur de laquelle doit pouvoir fonctionner un satellite est très vaste, sa température globale dépendant de l'équilibre entre la chaleur interne qu'il génère et celle qu'absorbent ou que rayonnent ses surfaces extérieures. Le milieu dans lequel baigne un engin spatial étant un vide presque complet, très peu de chaleur gagne ou quitte le satellite par conduction. Dans l'espace, les transferts de chaleur se font par rayonnement. La principale source de chaleur rayonnée est le Soleil, avec une contribution minime de la Terre. Les pertes de chaleur se font essentiellement par rayonnement vers le cosmos dont la température est voisine du zéro absolu. Les différences de conception thermique sont très grandes entre un engin stabilisé par rotation du type Alouette, dont les surfaces sont alternativement chauffées par le Soleil et refroidies par le rayonnement vers le cosmos, et un satellite stabilisé sur trois axes, comme Hermès, dont un côté est continuellement exposé au Soleil et l'autre tourné vers un vide glacial. La thermique des satellites est devenue un domaine hautement spécialisé dont l'objet principal est d'assurer l'infaillibilité de l'ensemble des systèmes. Après avoir déterminé les limites de températures acceptables dans les diverses parties internes du véhicule spatial, on fait en sorte de les maintenir une fois le satellite dans l'espace, en choisissant avec soin la configuration de l'engin, le pouvoir réflecteur et émissif de sa surface, la disposition de ses sources internes de chaleur et la distribution de celle-ci et, enfin, son isolation.

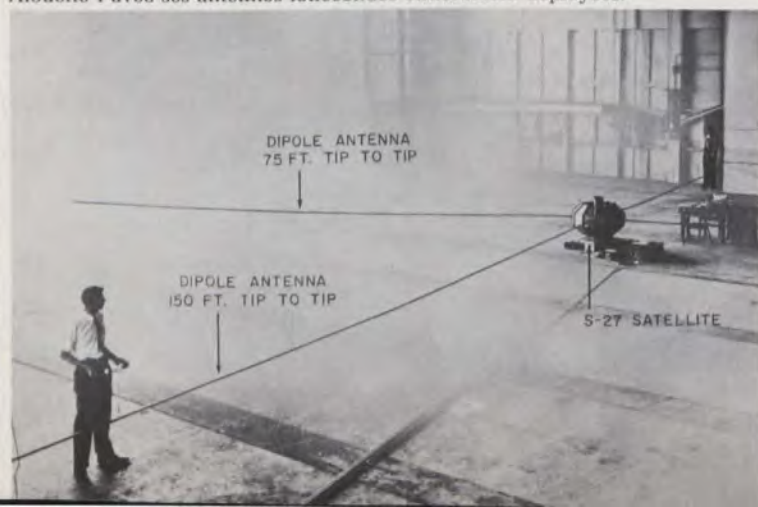
Lorsqu'un conducteur se déplace dans un champ magnétique, il se produit une tension induite. Cette induction électromagnétique est très utilisée pour la production d'électricité. Son principe s'applique tout aussi bien aux engins spatiaux métalliques orbitant dans le champ magnétique terrestre. L'induction est alors proportionnelle aux dimensions du satellite. Dans le programme Alouette-ISIS, la longueur maximale des antennes de bord atteignait 73 m de bout en bout, ce qui signifiait d'importantes tensions induites sur les éléments de l'antenne. On prit donc pour ISIS I et II des mesures spéciales afin d'isoler les antennes du corps de l'engin, de sorte que les tensions induites ne puissent perturber le fonctionnement des sondes et détecteurs sensibles installés à la surface de l'astronef. Ces satellites baignant en permanence dans un milieu ionisant, des courants électriques pouvaient s'établir vers l'ionosphère, ou à partir d'elle, et empêcher toute accumulation notable des charges à la surface de l'engin.

Le satellite Hermès circulait par contre à une altitude où la densité de l'ionisation est extrêmement faible. Dans ces conditions, il y avait peu de risques que les courants électriques s'établissant avec le milieu environnant soient suffisamment forts pour que les tensions induites ou l'ionisation directe due à la lumière du Soleil interdisent en totalité l'accumulation des charges à la surface de l'engin. La répartition de ces charges ne se fait d'ailleurs pas uniformément sur la surface du fait de ses irrégularités et de ses différences de composition. Il peut s'y produire des décharges ou des amorçages d'arcs qui risquent d'endommager les systèmes électriques des satellites. Parmi ces effets dangereux figurent la création de champs radiostatiques pouvant brouiller la réception des instructions, des surtensions dangereuses pour les commutateurs et les relais, des impulsions données au système logique pouvant se traduire par des ordres erronés et un mauvais fonctionnement des ordinateurs et circuits électroniques et, enfin, des chutes de tensions pouvant endommager les composants des systèmes.

On sait maintenant que l'accumulation des charges par les satellites est l'un des risques sérieux des voyages spatiaux. Bien que ce phénomène ne soit pas bien connu, il a été possible d'envisager un certain nombre de mesures préventives. Dans le passé, en effet, des incidents mystérieux avaient perturbé pendant de courtes périodes le fonctionnement d'un certain nombre d'engins spatiaux. Il se produisit même, au moins dans un cas, une panne complète attribuée à l'accumulation des charges. Si conscients qu'ils aient pu être de ce phénomène, les concepteurs d'Hermès n'ont pu y incorporer qu'un ou deux dispositifs préventifs, mais aucun moyen de diagnostic, à l'exception d'un compteur d'impulsions pour surveiller les décharges. Il est donc impossible d'avoir

**Figure 14**

Alouette I avec ses antennes ionosondes entièrement déployées.



**Figure 15**  
Station au sol d'Ottawa.



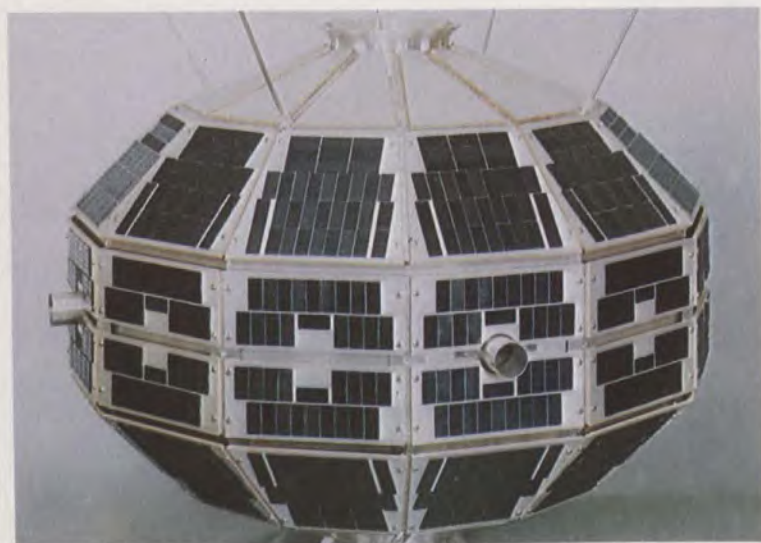
la certitude qu'Hermès ait souffert d'une manière quelconque de cette accumulation de charges, bien que l'on pense qu'au moins un ennui — une perte soudaine de 15 p. 100 de la puissance d'antenne — ait été dû à une décharge statique.

Cette brève revue du milieu dans lequel évoluent les satellites ne doit pas faire oublier que chacun d'entre eux n'est qu'une composante d'un système comprenant au moins une station au sol. Celles-ci peuvent avoir pour objet de diriger le fonctionnement des satellites ou, plus simplement, de surveiller leurs émissions de données et de leur servir de relais. Dans le premier cas, outre l'envoi des instructions voulues, la station assure la surveillance et l'enregistrement de la position du satellite, de son orientation et de l'état du matériel et des dispositifs embarqués. Les satellites de basse altitude, du type ISIS, qui ne restent dans le champ de vision d'une station que dix à vingt minutes à la fois, peuvent être reliés à une série de stations des deux types réparties tout autour du globe. Les engins installés sur orbite géostationnaire, toujours visibles de 40 p. 100 de la surface de la Terre, peuvent fonctionner en liaison avec n'importe quelle station installée dans ce secteur, mais dépendent en général d'une station centrale de commande.

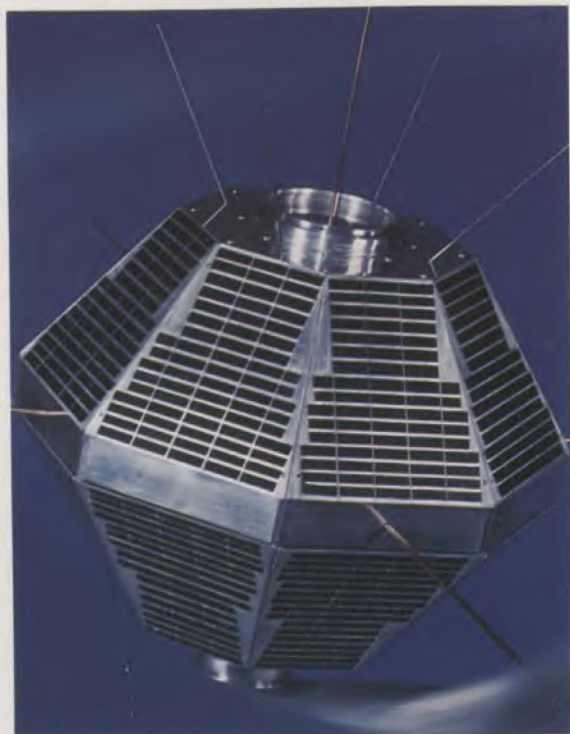
3

# Le programme Alouette-ISIS

Figure 16

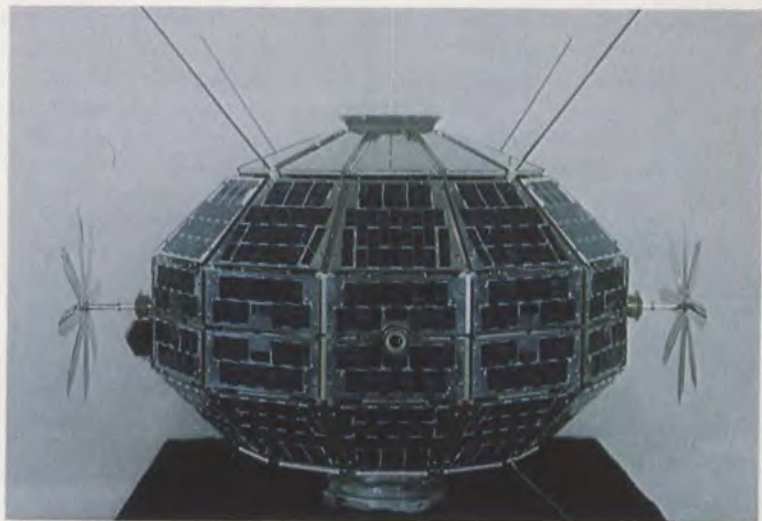


Alouette I



ISIS I





Alouette II



ISIS II

## Introduction

Aussi loin que l'on remonte dans le temps, l'homme a toujours scruté les cieux par les nuits sans nuages et s'est interrogé sur ce qui pouvait bien exister « là-haut ». Bon nombre de croyances et de mythes encore entretenus de nos jours sont nés d'observations astronomiques limitées et de questions que l'homme se posait face à l'inconnu céleste. L'arrivée de l'ère de l'espace a fait franchir à l'homme une étape extraordinaire, en ce sens qu'elle lui a permis pour la première fois de s'attaquer directement à l'exploration de régions éloignées de la surface de la Terre. Nous sommes maintenant capables d'envoyer dans l'espace pendant de longues périodes des satellites emportant des instruments — ou même des observateurs —, de choisir leur destination, de surveiller leur fonctionnement et de recueillir au sol les fruits de leurs observations. Un quart de siècle après qu'aient débuté nos activités spatiales, nous avons quelquefois tendance à les considérer comme banales. Elles marquent cependant pour l'homme le franchissement d'un seuil d'une importance fondamentale. Maintenant que la technologie moderne nous en donne les moyens, nous pouvons explorer l'environnement de la Terre, pousser des reconnaissances dans des régions plus éloignées de l'espace et, enfin, essayer de satisfaire notre curiosité sur l'univers et la place que nous y occupons.

Le Canada a été l'un des pionniers de l'exploration spatiale. Un an après le lancement du premier Spoutnik, les plans de notre première aventure spatiale étaient déjà faits et nous avons été les troisièmes — après l'Union soviétique et les États-Unis — à produire un satellite terrestre. Le lancement d'Alouette I, qui est intervenu cinq ans à peine après le début de l'ère de l'espace, a constitué un tel succès qu'il a très logiquement donné naissance à un programme spatial canadien de grande ampleur. Ce fut la mise en opération des satellites ISIS qui ont fonctionné pendant près de vingt ans et nous ont apporté une masse de connaissances sur l'ionosphère et les aspects connexes de la haute atmosphère. Sur pratiquement tous les plans, Alouette-ISIS a constitué l'un des programmes spatiaux les plus réussis à ce jour.

Les pages qui suivent vont traiter brièvement des premières recherches ionosphériques qui ont conduit aux satellites expérimentaux. Nous examinerons ensuite le programme Alouette-ISIS et rappellerons ses grandes réalisations. Suivra un bref résumé du rôle joué par chacun des principaux participants. En effet, bien que les satellites Alouette et ISIS aient été construits chez nous et que plus de la moitié de leurs grands responsables aient été des Canadiens, ce fut une entreprise commune au Canada et aux États-Unis, avec la participation active de dix autres pays. Cet internationalisme était voulu. L'ionosphère

nous domine tous et le meilleur moyen de connaître ses caractéristiques et son comportement est sans aucun doute d'en réaliser une étude globale, organisée par des chercheurs de tous les coins du monde.

### **Premières études ionosphériques**

L'un des événements marquants de l'histoire de la radio s'est produit le 12 décembre 1901, lorsque Guglielmo Marconi reçut à Terre-Neuve un signal en morse provenant d'un émetteur situé à 2 900 km de là, en Angleterre. De toute évidence, les ondes radio voyageaient; mais à l'époque, personne ne pouvait comprendre comment il se faisait qu'elles aillent si loin au-delà de l'horizon. L'explication vint l'année suivante lorsque Arthur Kennelly et Oliver Heaviside suggérèrent l'existence dans la haute atmosphère d'une couche conductrice capable de réfléchir les ondes radio. Cette idée se traduisit par une longue série d'études afin d'essayer de déterminer l'origine et la nature de ce que l'on appela pendant des années la couche de Kennelly-Heaviside et que nous connaissons maintenant sous le nom d'ionosphère.

Pendant que les recherches se poursuivaient, le simple fait que les ondes se propagent sur de grandes distances a ouvert la voie à l'exploitation commerciale des télécommunications sans fil. L'utilisation pratique de la radio dans un grand nombre de pays permit d'accumuler beaucoup de connaissances empiriques, mais il fallut près de vingt-cinq ans pour que soit entreprise une étude systématique des propriétés de l'ionosphère. Les télécommunicateurs avaient enfin acquis la conviction qu'il fallait en savoir bien davantage sur ce qui arrivait aux ondes radio, le trafic se révélant aléatoire, voire parfois impossible, parce que l'on ignorait pratiquement tout des effets quasi imprévisibles qu'avait sur elles l'ionosphère. Une meilleure connaissance de celle-ci était essentielle; elle fut rendue possible au milieu des années 20 par l'introduction d'un nouvel outil, l'ionosonde à impulsions de G. Breit et M.A. Tuve. Cette invention fut probablement la réalisation la plus importante effectuée dans le cadre des recherches ionosphériques.

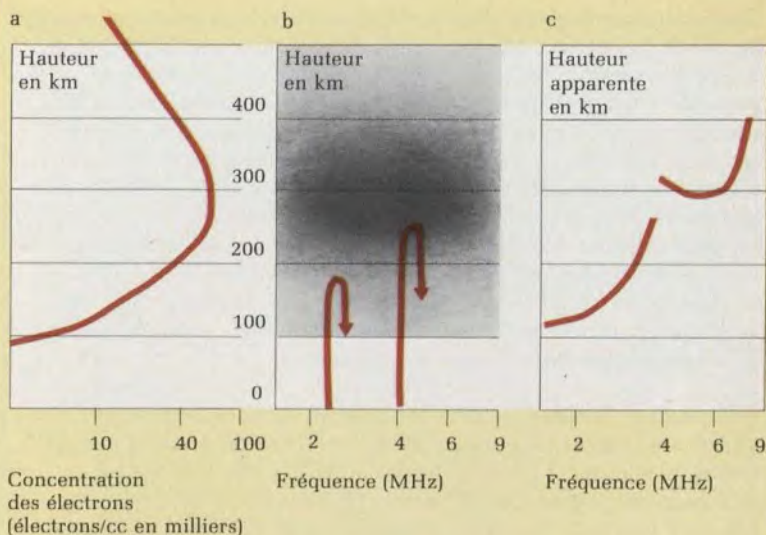
Fondamentalement, une ionosonde est un émetteur-récepteur radio dont le fonctionnement est basé sur le principe de la réflexion des ondes par les régions de concentration d'ions. On diffuse vers l'ionosphère de courtes impulsions d'ondes radio à des fréquences différentes et on relève le temps écoulé entre l'envoi d'une impulsion et le retour de son écho, ce qui permet de déduire la hauteur du niveau réfléchissant. À chaque fréquence correspond un degré d'ionisation de ce niveau. Le relevé des

fréquences reflétées et des temps de retour des impulsions permet donc de déterminer l'étagement des différentes densités électroniques.

À l'intérieur de l'ionosphère, cette densité croît avec la hauteur. Si un niveau donné reflète une fréquence particulière, une fréquence un peu supérieure le traversera presque sans encombre, mais sera réfléchiée un peu plus haut. Si l'on augmente systématiquement la fréquence de l'émission, la succession des temps de retour enregistrés fournit un profil de la distribution des ions dans l'ionosphère jusqu'à la hauteur où l'ionisation est maximale. Le profil ainsi obtenu constitue ce que l'on appelle un ionogramme, où figurent en général les *hauteurs apparentes* déduites des observations des temps de transmission hypothétiquement fixés à la vitesse de la lumière. L'informatique permettant dorénavant de déterminer la rapidité réelle du déplacement des ondes radio à l'aller et au retour, il est devenu possible de calculer les hauteurs réelles des couches ou des régions réfléchissantes et d'obtenir les ionogrammes correspondants. La figure 17 illustre ce procédé et présente un ionogramme simplifié comportant deux couches réfléchissantes.

Les véritables ionogrammes sont bien entendu beaucoup plus complexes. Les ondes radio se propagent dans l'ionosphère de deux façons, à des polarisations et des vitesses différentes, ce qui donne des tracés séparés à l'enregistrement. Le tout est encore compliqué par les réflexions multiples, la dispersion à partir des structures à petite échelle et l'existence de bancs d'ionisation ou de niveaux d'ionisation maximale sous le niveau maximal principal.

Après la mise au point de l'ionosonde aux États-Unis, les chercheurs de nombreux pays se sont plongés dans l'étude de l'ionosphère, et cela surtout parce que le développement de l'électronique le permettait. Les mesures détaillées faites alors permirent d'établir l'existence d'au moins deux couches ionosphériques — les couches E et F — capables de refléter les ondes radio, la première semblant se présenter comme un banc d'ionisation à la base de l'autre, nettement plus dominante. Ces mêmes mesures ont démontré que, dans de très nombreux cas, les réflexions n'étaient pas observables et que le comportement de l'ionosphère n'avait rien de certain.



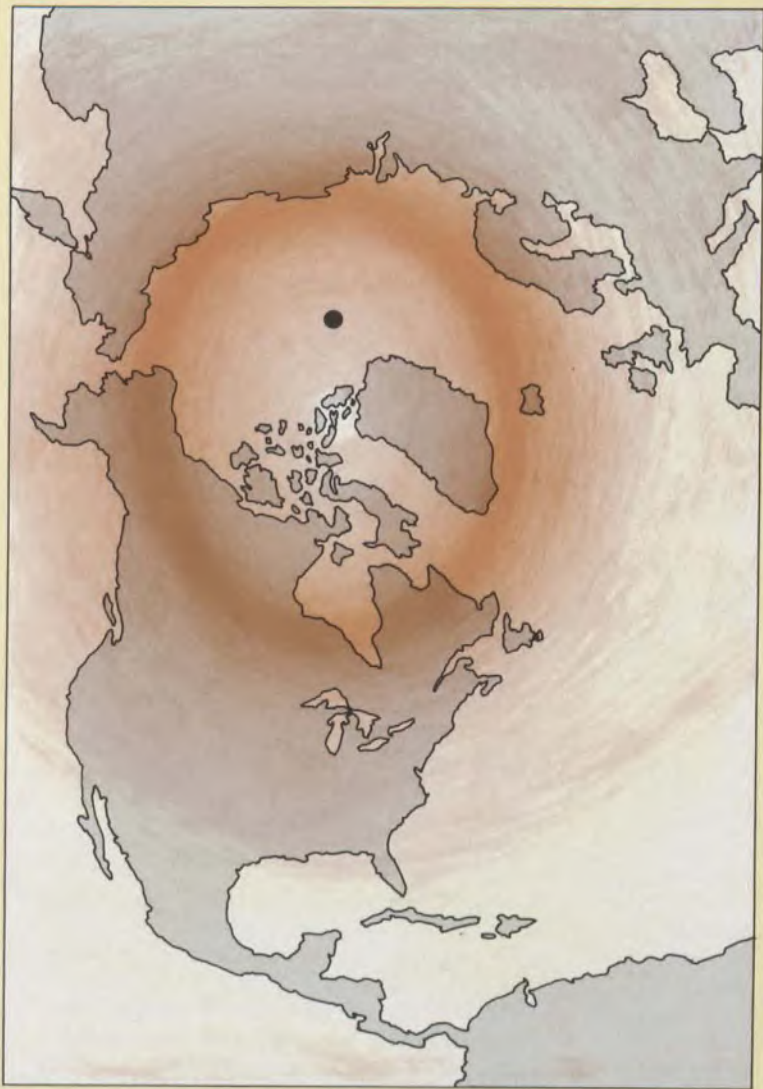
**Figure 17**

a) Densité électronique représentative par rapport au profil de la hauteur.  
 b) Diagramme du sondage à balayage en fréquence de l'ionosphère. La pénétration croît au fur et à mesure qu'augmente la fréquence, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de réflexion.  
 c) Ionogramme d'un mode unique de propagation et de répartition des électrons figurant en a).

C'est au Conseil national de recherches (CNR) qu'ont commencé, au début des années 30, les études canadiennes sur l'ionosphère. Elles ne devinrent cependant systématiques qu'à partir de la Seconde Guerre mondiale lorsqu'il se révéla évident qu'il fallait de meilleures télécommunications sur l'Atlantique. Les pannes radio — partielles ou totales — étant alors fréquentes et le plus souvent imprévisibles aux latitudes élevées, le CNR construisit et installa en 1941 à Chelsea (Québec) une ionosonde dont se servit un petit groupe, sous les ordres de F.T. Davies, pour effectuer des prévisions des fréquences permettant les meilleures télécommunications. D'autres stations du même genre furent mises en place les années suivantes si bien qu'en 1945, nous disposions d'un réseau canadien de sept ionosondes.

Des progrès similaires étaient intervenus dans les autres pays ayant des besoins identiques, et un rudiment de réseau international de stations à ionosondes vit alors le jour. Il servait à effectuer des prédictions du comportement de l'ionosphère, ce qui était fort utile aux télécommunicateurs. Amélioré et élargi, ce service est toujours en usage. En dépit de ses graves imperfections pour les latitudes élevées, il a été précieux pour les prévisions aux latitudes faibles et moyennes.

Ce n'est qu'une fois les restrictions du temps de guerre disparues, en 1945, et les exigences opérationnelles assouplies, qu'a pu démarrer toute une série d'études scientifiques sur quelques-unes des questions qui tracassaient les chercheurs absorbés dans la collecte des données des ionosondes pendant la guerre. Ces études furent placées chez nous sous l'autorité du nouveau Conseil de recherches pour la défense (CRD), et entreprises au Centre de recherches sur les télécommunications de la défense (CRTD) dirigé par F.T. Davies et J.C.W. Scott. Cet organisme lança un vaste programme de recherches et d'applications aux besoins militaires, dont les télécommunications ionosphériques — c'est-à-dire les télécommunications en ondes courtes, en hautes fréquences (HF) — étaient une composante importante. Les données des ionosondes fournissaient des renseignements sur la répartition verticale de l'ionisation et sur ses modifications selon les heures et les endroits. Les recherches du Centre prouvèrent que la gamme des conditions rencontrées dans l'ionosphère était bien plus étendue au-dessus du Canada qu'ailleurs. Dans les cas extrêmes les télécommunications en ondes courtes étaient impossibles durant des jours entiers, par exemple, Montréal et les collectivités du Grand Nord comme Yellowknife ou Inuvik. Il apparut que cet empêchement était associé à l'existence de la *zone aurorale*, une ceinture située à la hauteur des latitudes canadiennes moyennes, où les aurores boréales sont les plus fréquentes (voir figure 18). Ce phénomène est une manifestation



**Figure 18**  
Zone aurorale dans l'hémisphère nord.

de l'arrivée dans la très haute atmosphère terrestre de particules solaires chargées d'énergie. Par des mécanismes encore mal compris, elles peuvent pénétrer l'atmosphère aux latitudes élevées et provoquer une ionisation anormale dans l'ionosphère. Le Canada étant tout compte fait le seul terrain accessible pour l'étude de la zone aurorale et de la calotte polaire, nous disposons d'un champ de recherches aussi intéressant que fructueux.

Lorsque toutes les nations du monde s'unirent en 1957 pour une étude poussée de la planète à l'occasion de l'Année géophysique internationale (AGI), le Canada élargit encore ses recherches ionosphériques. Nos spécialistes concurent de nouvelles expériences, installèrent des stations supplémentaires à des latitudes plus élevées et s'engagèrent dans d'autres réalisations importantes comme l'aménagement à Churchill, dans le Manitoba, d'une base de tir de fusées commune au Canada et aux États-Unis pour l'exploration de la haute atmosphère.

Grâce à ces travaux et aux activités qui se déroulaient dans les pays situés à des latitudes moins élevées, une image satisfaisante de la face inférieure de l'ionosphère s'est peu à peu dégagée. De nombreux points restaient cependant obscurs sur ce qui se passait aux latitudes élevées et pendant les périodes de perturbations. Malgré plus de dix ans de recherches approfondies tout autour du monde, on n'avait encore fait que peu de progrès pour améliorer la fiabilité des radiocommunications en ondes courtes aux latitudes élevées. Pendant ce temps, les demandes d'amélioration des liaisons, sur des distances plus grandes, n'avaient cessé d'augmenter, autant pour les besoins civils que militaires. On se trouvait dans une impasse. Le déblocage vint avec l'avènement de l'ère de l'espace. Le lancement des premiers satellites artificiels conduisit à la décision de poursuivre l'étude de l'ionosphère à partir de points d'observation situés au-dessus de la zone d'ionisation maximale de la couche F. Dans l'idéal, un programme de recherches par satellite pouvait aboutir enfin à une meilleure compréhension de la physique de l'ionosphère et permettre de perfectionner les radiocommunications en ondes courtes. Selon le CRD, on obtiendrait sur ce milieu peu connu des renseignements pouvant être utiles pour parer au danger des missiles intercontinentaux. L'on admettait en outre que les progrès faits automatiquement dans ce cas par la technologie spatiale se traduiraient très probablement par une amélioration des télécommunications et leur libération à peu près totale des incertitudes de l'ionosphère.

Les planificateurs canadiens n'étaient bien entendu pas les seuls à raisonner ainsi. Connaissant parfaitement les problèmes de



télécommunications associés à l'ionosphère aux latitudes élevées, nos spécialistes furent parmi les premiers à demander l'application de cette technologie nouvelle aux recherches ionosphériques.

Scientifiquement et technologiquement mis en appétit par les lancements de fusées réalisés à Churchill, ils étaient fascinés par les possibilités qui s'ouvraient à eux. Si vive qu'ait été la concurrence des projets après le lancement de Spoutnik, ils eurent l'art de présenter un programme aussi solide que persuasif.

### **Le programme Alouette**

C'est en juillet 1958 que le Space Science Board de l'Académie nationale des sciences des États-Unis procéda à un appel d'expériences scientifiques satellisées incorporables au programme spatial américain de l'époque. Parmi les soumissions reçues, celles concernant l'étude de l'ionosphère furent examinées par des groupes de chercheurs américains et canadiens. Le CRTD avait proposé l'embarquement sur un satellite d'une ionosonde destinée à explorer les régions situées au-dessus de la zone d'ionisation maximale. À la fin de 1958, ce projet fut soumis à la NASA toute nouvellement formée, qui accepta l'idée d'une réalisation conjointe Canada-États-Unis, en grande partie à cause de la réputation internationale flatteuse que s'étaient acquise en ce domaine les chercheurs canadiens.

L'accord prévoyait grosso modo que le CRD concevrait, construirait et paierait un satellite que la NASA lancerait gratuitement pour le Canada, y compris les frais accessoires de testage, de qualification et de mise sur orbite. Le CRD avait en outre convenu d'installer au Canada trois stations de télémétrie et de commande, la NASA mettant à la disposition du satellite la totalité de son réseau de stations au sol afin de rassembler au profit des deux pays des données ionosphériques couvrant la totalité du globe. Cet accord fut publiquement annoncé en avril 1959 et officiellement signé plus tard dans l'année.

Parmi les noms des pionniers du Conseil plus spécialement associés à l'idée et au lancement de ce programme spatial novateur, certains doivent être retenus. C'est ainsi que J.H. Chapman et E.S. Warren furent les pères de la proposition originale et restèrent associés au programme Alouette tout au long de son existence ou presque, le premier à titre de coordonnateur et le second en tant que principal responsable des recherches expérimentales par ionosonde. F.T. Davies et J.C.W. Scott se succédèrent quant à eux à la tête du CRTD et c'est à leur obstination éclairée que l'on doit les approbations successives obtenues, les victoires face aux critiques et le déblocage des ressources indispensables.

D'autres organismes ayant des intérêts bien précis avaient soumis simultanément des propositions en matière de sondage en contre-haut à partir du satellite. C'est ainsi que l'un des principaux centres de recherches ionosphériques — et l'un de nos concurrents les plus sérieux en la matière — le Central Radio Propagation Laboratory de Boulder (Colorado), fut chargé par la NASA de mettre au point un sondeur à fréquence fixe à titre de moyen d'expérimentation satellisé de première génération. Devait le suivre le sondeur à balayage de fréquences plus complexe que le CRTD allait mettre au point. La similarité des objectifs poursuivis conduisit très logiquement, au début de 1960, à la constitution d'un groupe de travail conjoint chargé de coordonner l'ensemble de ces activités.

Par ailleurs, riche de son passé brillant en matière d'études ionosphériques, le Royaume-Uni fit connaître son vif désir de participer au programme et, en mars 1961, la Radio Research Station de Slough (Angleterre) mit officiellement à la disposition de celui-ci ses stations de télémétrie de l'Atlantique Sud et de Singapour moyennant accès rapide à toutes les données recueillies. La participation et la collaboration internationales ont donc constitué des composantes du programme dès le départ.

L'opération entreprise en commun avec les États-Unis avait pour objet l'étude de la couverture de l'ionosphère. Les intentions canadiennes découlaient des possibilités expérimentales du satellite Alouette. Fonction des capacités de balayage des fréquences de l'ionosonde et de la constance de la hauteur orbitale du satellite, elles concernaient essentiellement les latitudes élevées. La configuration expérimentale retenue visait à l'obtention d'ionogrammes de la partie supérieure (la couverture) de l'ionosphère analogues à ceux fournis pour sa partie inférieure par l'équipement au sol. On devait en outre s'attacher particulièrement à la perturbation de l'ionosphère dans la zone aurorale et les régions polaires.

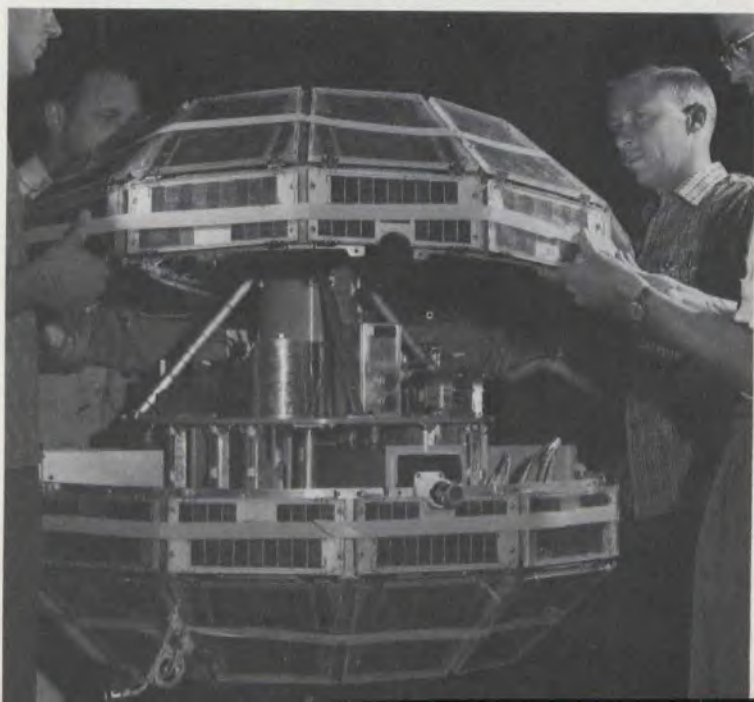
Les choses progressant, on se rendit compte qu'on pouvait incorporer avantageusement au programme trois autres expériences : la mesure des bruits radioélectriques d'origine cosmique, celle des émissions radio très basses fréquences et celle des particules énergétiques. Émanant du CNR, cette dernière visait à déterminer la distribution des particules énergétiques et à étudier leurs relations avec l'ionosphère. Comme celle de l'ionosonde, les deux autres expériences avaient été conçues par le CRTD dans le cadre de l'étude des radiocommunications.

Le Canada poursuivait aussi des objectifs secondaires : l'approfondissement des connaissances en technologie spatiale et l'acqui-

sition d'une compétence pour la conception et la construction d'un matériel susceptible de fonctionner sans ennuis pendant longtemps dans le milieu hostile de l'espace.

Le CRTD s'attaqua donc à la conception et à la construction du satellite Alouette. Très normalement, sa mise au point souleva des difficultés exceptionnelles auxquelles il fallut trouver des solutions techniques inédites. La technologie spatiale en était à ses balbutiements à cette époque, et les exigences relatives aux charges utiles posaient aux ingénieurs des défis extraordinaires. L'un des premiers à relever était celui de la réalisation d'antennes pour le sondeur. Étant donné la gamme de fréquences envisagée (de 0,5 à 12 MHz), il fallait de longues antennes, plus précisément deux antennes bipolaires rigides mesurant 23 et 45 m d'une extrémité à l'autre d'après les calculs. Or, celles des satellites précédents n'avaient jamais dépassé six mètres. Le problème était énorme. On le résolut finalement en adaptant une antenne mise au point pour les chars de combat : de fins rubans d'acier précontraint, enroulés comme un ruban de menuisier, seraient déroulés par un petit moteur électrique pour former un cylindre semi-rigide une fois le satellite sur orbite (voir figure 20). Ce dispositif essentiel fut réalisé par l'industrie privée en collaboration avec le CRTD, et les antennes testées avec succès dans l'espace à bord d'une fusée Javelin lancée par la NASA en juin 1961.

**Figure 19**  
Assemblage de l'engin spatial Alouette I.





**Figure 20**  
Élément d'antenne extensible tubulaire (STEM) — mis au point à partir des dispositifs d'antenne utilisés sur Alouette I.

Deux autres difficultés majeures concernaient l'émetteur-sondeur et les accumulateurs du satellite. Les circuits à semi-conducteurs avaient été retenus pour l'émetteur, mais les premières estimations de la puissance nécessaire dépassaient les possibilités pratiques de l'époque. Il fallait pourtant que l'émetteur ait une puissance suffisante pour qu'on détecte l'écho d'une impulsion émanant de l'ionosphère sans qu'elle soit masquée par les bruits radioélectriques cosmiques. On ne pouvait donc mettre au point l'émetteur avant d'avoir mesuré l'intensité de ces bruits. On utilisa pour cela un récepteur spécial embarqué à bord du satellite américain Transit 2A en juin 1960. Le problème des accumulateurs était que tout défaut, toute panne, mettrait fin à la mission. Il fallait donc rendre aussi parfaite que possible la fiabilité des batteries commerciales au cadmium-nickel en améliorant l'électrolyte, les plaques et le matériau de séparation. Sous la direction de E.J. Casey, ce fut fait par un groupe du CRD avec l'aide de spécialistes des Laboratoires de recherches chimiques, biologiques et radiologiques pour la Défense.

Pendant toute la durée du programme, la préoccupation fondamentale des techniciens était la fiabilité. À cette époque de l'enfance de la technologie spatiale, le matériel et les composants des satellites étaient peu sûrs et la plupart des engins spatiaux avaient une vie utile de quelques mois à peine. Au moins aussi complexe que ses prédécesseurs, Alouette allait en outre emporter un matériel jamais employé à ce titre auparavant. Les concepteurs s'attachèrent donc à identifier et à éliminer toutes les faiblesses conceptuelles intrinsèques au satellite et à n'incorporer dans sa charge utile que des appareils et des pièces fiables testés avec succès en milieu simulé. Soucieux de réduire les risques, ils évitèrent les complications indues et doublèrent tous les composants essentiels. C'est pour cette raison qu'il n'y eut pas de système embarqué de mémorisation des données même si cela eût été souhaitable. On installa des batteries de rechange, les marges de fonctionnement furent calculées très largement et l'on procéda à des essais répétés afin de déceler les faiblesses cachées. Montage et inspection firent l'objet de tous les soins. Ces diverses mesures se révélèrent payantes, mais l'incertitude restait malgré tout considérable.

Finalement, à force de labeur obstiné et après avoir prélevé d'importantes ressources sur les autres programmes du Centre, Alouette vit le jour, près de deux ans avant l'achèvement du modèle étatsunien à fréquence fixe. Retardé par des problèmes de sous-traitance, Explorer 20 fut en définitive lancé le 25 août 1964.

Les tenants de la prudence en matière de percées technologiques spatiales avaient bien raison, comme en témoigne l'expérience

Alouette. La modération dont avait fait preuve le CRTD dès la conception a donné des résultats lors des essais d'ambiance après le montage. On apprit à ce moment-là que les niveaux de vibration déterminés par la NASA pour le vecteur de lancement avaient été considérablement relevés. Les perspectives de dommages pour Alouette au cours des essais et du lancement semblaient énormes et semèrent la consternation chez les concepteurs, pas du tout tranquilisés par les déclarations des hauts responsables de la NASA qui rétorquaient avec assurance : « Si nous endommageons votre engin, nous vous en paierons un autre. » Alouette passa malgré cela tous les tests avec succès. Notre satellite était prêt pour le lancement.

À la base de l'armée de l'air de Vandenberg, en Californie, il fallait intercaler le lancement entre le passage des trains de fruits du Southern Pacific Railroad qui, à 75 mètres du pas de tir, se succédaient à des heures irrégulières ! Il fallait aussi évacuer la totalité de la population du petit village voisin de Surf (43 habitants) pendant tout le compte à rebours, y compris les retards. Ce fut fait, et une fois les habitants rentrés chez eux et le satellite sur orbite, les incertitudes s'évanouirent et Alouette devint en

**Figure 21**

J.H. Chapman pendant le lancement d'Alouette I.



quelques heures un succès. Comme le raconta par la suite John Chapman, « Je serrais les poings, je serrais les genoux, je serrais tout le reste. C'était l'époque où les lancements comptaient 50 p. 100 d'échecs. » La mise sur orbite d'Alouette fut l'une des mieux réussies de l'histoire spatiale américaine et tout le matériel embarqué, sondeur et autres, fonctionna pratiquement comme prévu.

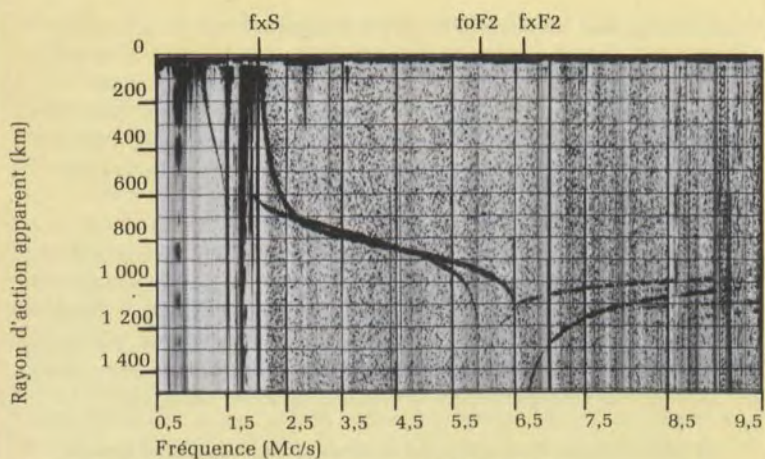
Ce lancement semble maintenant bien lointain et bien ordinaire. Pour tous ceux qui étaient de l'aventure, l'enjeu était énorme : ce satellite était un laboratoire miniature, à l'instrumentation extraordinairement complexe, et qui aurait pu être détruit au cours de l'opération. Il allait maintenant devoir accomplir quatre types de mesures scientifiques dans un milieu plein de dangers.

Notre prudence se manifesta de nouveau juste avant le lancement, lorsque furent fixés les critères qui permettraient de décider officiellement du succès ou de l'échec de la mission. Bien qu'Alouette ait été conçu pour une vie utile d'un an, on fixa à trois mois la durée de fonctionnement qui correspondrait à un « succès complet » ; trois mois de fonctionnement auraient en effet énormément aidé à mieux comprendre un milieu alors presque inconnu : la couverture de l'ionosphère. Alouette fonctionna dix ans ... et a battu tous les records des documents scientifiques produits à partir des données fournies par un seul engin.

**Figure 22**

Alouette I en orbite vu par un artiste.





23 nov. 1962, 7 h 12, heure de Greenwich (127°E, 26°S)

**Figure 23**

Exemple d'ionogramme en contre-haut d'Alouette I. Les deux traces correspondent aux deux modes de propagation dans l'ionosphère. La partie supérieure à 6,5 MHz est la résultante de la réflexion du sol et de la partie basse de l'ionosphère.



Dans les semaines qui suivirent le lancement, il devint évident qu'Alouette transmettrait sur la structure de l'ionosphère toutes les données détaillées qu'on l'avait envoyé chercher. Les treize stations au sol qui recevaient ses signaux autour du globe produisaient régulièrement des ionogrammes. Chaque fois qu'il était activé par l'une d'entre elles conformément au programme fixé, le satellite entra en action, envoyait des indications pendant à peu près dix minutes puis s'interrompait automatiquement. Enregistrées sur bande magnétique, ces données étaient ensuite traitées sous d'autres formes, puis transformées en ionogrammes représentant chacun une tranche verticale située directement sous le satellite et espacée de la suivante d'environ 100 km. La figure 23 présente l'un de ces ionogrammes de couverture qui, comme on peut s'y attendre, ressemblent beaucoup à ceux de la partie basse de l'ionosphère. Les traces de réflexion — entre 2 et 6,5 MHz dans ce cas — représentent les fréquences reflétées par la partie supérieure de l'ionosphère aux hauteurs virtuelles indiquées, immédiatement sous le satellite. Comme pour les relevés de la couche inférieure, ces hauteurs apparentes peuvent être converties en hauteurs réelles, ce qui permet de déterminer la répartition verticale de la densité électronique.

**Figure 24**

Chercheurs du CRTD étudiant quelques-uns des premiers ionogrammes transmis par Alouette I.



Les autres expériences Alouette I furent également menées à bien, fournissant une foule de données nouvelles et passionnantes. Personne ne sachant combien de temps le satellite allait fonctionner, on recueillit et on traita le plus possible de données au cours des premiers mois. Cette période initiale permit de rassembler quelques-unes des indications les plus intéressantes et les plus sûres des cinquante ans d'histoire de la recherche ionosphérique. Il aurait été impossible de les obtenir autrement.

Au fur et à mesure que passaient les semaines, il devint de plus en plus évident que le satellite continuerait à bien fonctionner et à fournir des masses de données permettant d'étudier les variations temporelles, saisonnières et latitudinales de la répartition des électrons. Leur analyse détaillée allait occuper les chercheurs pendant de nombreuses années et susciter le besoin d'autres expériences ionosphériques qui ne pourraient être effectuées que par d'autres satellites.

### Le programme ISIS

Quelques semaines après le lancement d'Alouette I, les responsables avaient compris que ce satellite constituait une percée technologique majeure. Non seulement la tentative audacieuse d'utilisation d'une ionosonde à balayage de fréquences était un succès, mais elle dépassait tous les espoirs. La technique du sondage s'était révélée très bien adaptée à l'exploration de la couverture de l'ionosphère et rien ne semblait s'opposer à ce que l'on élargisse la gamme des fréquences et donc les possibilités du système. En conséquence, le Canada et les États-Unis s'attaquèrent en commun, dès 1963, à la mise en œuvre d'un programme prévoyant le lancement de quatre autres satellites ouvrant progressivement à l'exploration des régions plus élevées, et élargissant d'autant les horizons de la recherche ionosphérique.

Ce programme commun d'exploitation de satellites internationaux destinés aux recherches sur l'ionosphère reçut le nom d'ISIS (satellites internationaux destinés aux recherches sur l'ionosphère). Conçus et construits au Canada, ils devaient être lancés par la NASA à divers intervalles entre 1964 et 1970 durant la phase ascendante du cycle d'activité des taches solaires. S'étant dès cette époque fixé comme règle de recourir au maximum à l'industrie privée, le gouvernement canadien planifia le transfert à un certain nombre d'entreprises des connaissances et de l'expérience acquises par le CRTD à l'occasion du programme Alouette I, en vue de la production commerciale ultérieure de produits et de services spatiaux.

Les deux pays annoncèrent en janvier 1963 le lancement du programme ISIS destiné à une étude globale de l'ionosphère grâce à des mesures par ionosonde effectuées durant au moins un cycle d'activité des taches solaires (11 ans) à diverses hauteurs et latitudes, mais toujours destinées à acquérir des connaissances plutôt que seulement des données. Figuraient également au programme des mesures associées correspondant à la poursuite de l'objectif principal et faites par d'autres moyens expérimentaux. Cela permettait à d'autres chercheurs que ceux de la NASA et du CRTD de se mettre sur les rangs pour des expériences d'appoint. Les données ainsi collectées seraient ensuite mises à la disposition de la communauté scientifique par le truchement des centres mondiaux de données. Chaque pays participant fournirait sa part des ressources nécessaires, la responsabilité de la mise en œuvre générale du programme allant à un groupe de travail CRD-NASA.

Le groupe de travail formula donc un plan d'action pour les quatre satellites projetés, se décida pour des orbites très inclinées et mit l'accent sur l'exploration d'une gamme d'altitudes très étendue. De plus, des essais de mesures directes permettant l'échantillonnage de l'environnement immédiat des satellites furent prévus, de façon à recueillir des renseignements sur les constituants de l'ionosphère et leurs propriétés. À cela s'ajoutaient des mesures plus poussées des particules chargées entrant dans l'ionosphère et l'étude de leurs relations avec le phénomène des aurores et celui de l'ionisation.

Le premier des satellites de cette nouvelle série, qui prit le nom d'Alouette II, était le double modifié d'Alouette I, préparé en cas d'accident au lancement de ce dernier. La modification comportait l'adjonction d'une sonde expérimentale et l'élargissement de la gamme de fréquences du sondeur, pour son adaptation à une orbite elliptique ayant une apogée de 3 000 km.

Devant pour sa part effectuer un ensemble de mesures directes de coordination, la NASA lança simultanément un satellite de la série Explorer. Cette mission conjointe Alouette II-Explorer 31 fut nommée ISIS X. Circulant sur la même orbite qu'Alouette II et dans son voisinage immédiat, le satellite Explorer devait fournir des mesures par sondeur et spectromètre de masse à comparer à celles du sondeur et aux autres observations émanant d'Alouette II. ISIS X avait entre autres pour mission de lever le voile sur un

Expériences	Al I (C)	Exp-20 (É.-U.)	Al II (C)	Exp-31 (É.-U.)	ISIS I (C)	ISIS II (C)
Sondeur à balayage en fréquence	●		●		●	●
Sondeur en fréquence fixe		●			●	●
Récepteur TBF	●		●		●	●
Antenne active TBF					●	●
Impédance de l'antenne TBF						●
Photomètre enregistrant la partie rouge du spectre						●
Détecteurs de particules énergétiques	●		●		●	●
Sonde électrostatique cylindrique		●		●	●	●
Sonde ionique thermique				●		
Sonde électronique thermique				●		
Sonde de la température électronique				●		
Spectromètre de masse ionique sphérique		●		●		
Appareil de contrôle du mouvement des électrons énergétiques				●		
Spectromètre de masse ionique				●	●	●
Sonde ionique					●	●
Spectromètre à particules faibles					●	●
Radiobalise					●	●
Photomètre à balayage auroral						●
Récepteur de bruits radioélectriques cosmiques	●	●	●		●	●
	● Canada	● États-Unis		● Royaume-Uni		

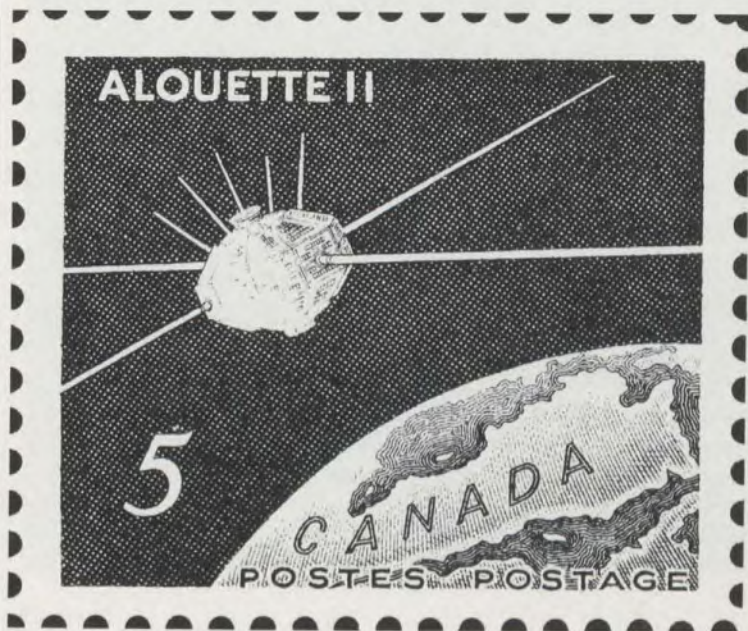
**Figure 25**

Liste des expériences grâce aux divers satellites du programme Alouette-ISIS.

point très important : un sondeur électrostatique (du type prévu pour les satellites ISIS ultérieurs) fonctionnerait-il convenablement sur un satellite équipé des très longues antennes exigées par le sondeur. Alouette II et Explorer 31 furent dotés d'appareils identiques dont on organisa le fonctionnement simultané de façon à pouvoir déterminer en détail les variations des données. Signalons ici que les résultats de ces essais furent parfaitement satisfaisants, ce qui permit aux concepteurs de prévoir toute une série d'expériences complémentaires pour les autres ISIS.

ISIS, tel fut en effet le nom que l'on donna aux trois autres satellites du programme. Pour les deux premiers d'entre eux, la principale expérience devait se faire à l'aide d'une ionosonde canadienne embarquée, les autres demandes d'expériences devant être soumises suivant les cas au Canada et aux États-Unis (voir figure 25). L'idée était d'effectuer avec chacun de ces engins le

**Figure 26**  
Timbre-poste émis pour commémorer la mission d'Alouette II.



plus possible de recherches complémentaires, et de le faire simultanément afin d'obtenir sur les divers paramètres ionosphériques des données significativement comparables. Chacun des satellites serait ainsi équipé d'un magnétophone large bande qui permettrait en outre de recueillir les données dans les régions éloignées du monde, hors de portée des stations au sol.

Les travaux sur Alouette II commencèrent en mars 1963 au CRTD et son lancement eut lieu en même temps que celui d'Explorer 31, le 29 novembre 1965, à la base des forces aériennes de Vandenberg (Californie). Cette fois encore, la mise sur orbite fut d'une précision extraordinaire (voir figure 12, page 39). Les Canadiens portèrent un très grand intérêt à cette deuxième entreprise spatiale nationale qui fut commémorée par l'émission d'un timbre spécial représentant le satellite. Le succès fut aussi complet avec Alouette II qu'avec Alouette I. Ce satellite fonctionna dix ans moins quatre mois et fournit une énorme moisson de données scientifiques.

C'est en mars 1964 que l'on commença à s'attaquer à ISIS I. Le CRTD fut chargé de la conception de l'engin même, son maître d'œuvre canadien, la RCA Ltée de Montréal, s'occupant de celle de la plupart des autres systèmes ainsi que de leur construction, leur intégration et leur testage. ISIS I était prêt pour le lancement dès janvier 1969.

Les convois ferroviaires de fruits ne furent cette fois qu'un inconvénient mineur comparativement au mauvais temps qui régna en Californie. Un brouillard dense et persistant retarda l'arrivée de l'équipe et du matériel de lancement. La grêle endommagea le portique. Une série d'orages inondèrent le champ de tir, noyèrent une partie du matériel électrique d'appui au sol et laissèrent une épaisse couche de boue dans une bonne partie des bâtiments. En trois jours, par une opération de sauvetage tenant du miracle, scientifiques et techniciens, aidés de leurs femmes et de leurs amis venus assister au lancement, trouvèrent le moyen de remettre les installations en état.

Le 30 janvier 1969 vit le lancement d'ISIS I sur une orbite elliptique ayant une apogée de 3 500 km. Ce satellite fonctionne toujours. Certains de ses dispositifs ne marchent plus, mais le sondeur, ses photopiles, ses batteries et son matériel de télémétrie continuent à recueillir des données. Après plus de douze ans dans l'espace, il envoie toujours d'excellents ionogrammes.



**Figure 27**  
ISIS I en orbite vu par un artiste.

ISIS II. Sa conception est la même que celle d'ISIS I, sauf les deux expériences optiques qui lui ont été ajoutées afin de permettre l'étude des lueurs émanant de l'ionosphère, et tout particulièrement des aurores boréales et australes (celles du pôle nord — les lueurs de la calotte polaire — et du pôle sud). C'est le 31 mars 1971 qu'intervint le lancement d'ISIS II, sur une orbite circulaire haute de 1 400 km. La RCA Ltée de Montréal était, là encore, responsable de tous les aspects de sa conception, de sa construction, de son intégration et de son testage. ISIS II a dépassé tous les espoirs. On vient de fêter son onzième anniversaire dans l'espace et il continue à fonctionner fidèlement, produisant toujours des ionogrammes de grande qualité.

Il avait été prévu qu'ISIS C, dernier de la série, serait placé sur une orbite elliptique haute dont l'apogée se situerait à quelque dix rayons terrestres (voir figure 10, page 34), pour l'étude des rapports entre les phénomènes magnétosphériques et l'ionosphère. Cela aurait aussi permis au Canada de participer directement aux recherches passionnantes déjà entreprises par d'autres pays sur la magnétosphère. Malheureusement, la décision prise en 1969 par le gouvernement canadien de réorienter les activités spatiales nationales vers les applications a mis fin aux projets fondés sur ce satellite, au grand regret des chercheurs intéressés.

ISIS II a donc été le dernier et, incontestablement, le meilleur des satellites du programme Alouette-ISIS. L'expérience Alouette I avait démontré dès le départ qu'il ne suffisait pas d'avoir une connaissance de la répartition des électrons pour comprendre ce qu'était l'ionosphère et qu'il fallait en savoir davantage sur la masse et la température ioniques ainsi que sur la température électronique pour analyser les comportements de l'ionosphère révélés par le sondeur. Équipés d'un matériel expérimental soigneusement choisi, les satellites ISIS fournissaient une bonne partie des données nécessaires. D'autres non moins utiles émanaient suivant les cas d'autres satellites, de fusées et du matériel au sol. Nous verrons d'ailleurs un peu plus loin comment, soutenues quelquefois par d'autres, les observations Alouette et ISIS ont servi à diverses études sur l'ionosphère et la magnétosphère.



## Le groupe de travail

D'une ampleur et d'une complexité peu ordinaires, mis au point à la fois au Canada et aux États-Unis, alimenté en données par des stations éparpillées tout autour du monde, ce programme exigeait une coordination méticuleuse. On en tint compte dès le début et un groupe de travail international, le Groupe de travail sur l'appareil de sondage par le haut, fut constitué en janvier 1960. Il avait initialement pour objet d'orienter et de coordonner les activités d'Alouette I et d'Explorer 20. Mais avec l'arrivée du programme ISIS, on le rebaptisa *Groupe de travail ISIS*, et il fut chargé de la coordination de l'ensemble Alouette-ISIS. Tous les organismes participants y étaient représentés et travaillaient à la définition des objectifs scientifiques du programme aussi bien qu'aux solutions des problèmes techniques et opérationnels que cela posait. Cette formule bénéfique permit à tous, chercheurs, techniciens, opérateurs et administrateurs d'avoir une pleine connaissance de chacun des aspects importants du programme pendant son avancement.

Au départ, les principaux soucis allaient à la planification et à la coordination de la mise en œuvre des satellites et des expériences embarquées. Le groupe de travail définit la charge expérimentale de chacun des satellites au cours d'une série de réunions où furent en premier décidées les catégories d'observations ionosphériques assignées à chaque satellite afin de répondre aux objectifs du programme d'ensemble. Ayant par la suite procédé à un appel de propositions d'études, le groupe sélectionna une série d'expériences à effectuer et choisit les orbites. Chacun des soumissionnaires resta responsable de son expérience, le CRTD assurant l'intégration en fonction des charges utiles.

Au fur et à mesure que progressaient les choses, le groupe coordonna les activités de collecte, de traitement, de stockage, de publication et d'échange des données. Ses membres se rencontraient régulièrement, ce qui créa entre eux des liens personnels, d'excellentes communications et un véritable esprit d'équipe. Exception faite parfois d'une jambe cassée sur les pentes neigeuses ou d'un plongeon imprévu dans la Tamise, les périodes de détente qui entrecoupaient les réunions difficiles furent fructueuses, car elles permirent des discussions ouvertes et une meilleure compréhension par chacun des problèmes de tous.

Pendant plus de 22 ans, le groupe a été le cadre d'une collaboration internationale poussée qui a largement contribué au succès et à la durée remarquables du programme. Il a fourni un exemple éclatant de l'efficacité d'une synergie scientifique et technique qui s'est traduite par des activités et des résultats dépassant toutes les espérances. Tous les organismes et chercheurs des pays qui se sont joints au Canada et aux États-Unis dans cette aventure, qui ont rassemblé des données, les ont analysées et en ont publié les résultats, ont immensément concouru à la croissance et au développement du programme sans que les deux associés d'origine encourrent une augmentation significative de leurs frais.

On s'était très vite rendu compte que les ressources scientifiques du Canada et des États-Unis étaient loin de permettre une exploitation véritablement scientifique des données du sondeur. De plus, les observateurs de l'ionosphère des autres pays n'eurent pas plus tôt vu quelques-uns des ionogrammes d'Alouette qu'ils en reconnurent la valeur et sollicitèrent un accès direct aux données touchant leurs régions respectives. Ce désir de participation fut vivement encouragé, et c'est ainsi qu'une série d'organismes particulièrement intéressés du Royaume-Uni, de la France, de l'Inde, du Japon, de l'Australie, de la Nouvelle-Zélande et de la Norvège installèrent chez eux des stations de commande et de télémétrie leur permettant de recueillir les données concernant leur région et d'en partager les résultats avec les autres participants. Certains services installèrent à Hong-Kong, au Brésil et en Finlande des lecteurs télémétriques dont ils recueillaient pour leur propre usage les données collectées durant les intervalles de prise en charge des satellites par les autres stations. Divers autres organismes d'Allemagne fédérale, de Suède, d'URSS et d'ailleurs exprimèrent leur désir de participer à l'entreprise. Ils renoncèrent cependant à s'équiper eux-mêmes, se contentant des données Alouette et ISIS fournies par les centres mondiaux de données.

Deux ans après le lancement d'ISIS II, on remplaça le traitement routinier des données par leur traitement sélectif. C'est-à-dire que le programme scientifique général fit place presque en totalité à des études multi-expérimentales précises de caractéristiques ou de phénomènes particuliers à l'ionosphère. Un sous-comité d'expérimentateurs du groupe de travail fut chargé de la coordination de ces études, et il a présidé à la plupart des activités du groupe dans ce domaine au cours des années.

Premier président du groupe de travail, J.E. Jackson, de la NASA, donna forme et orientation au programme jusqu'en 1974,

avant de passer le flambeau à T.R. Hartz, du CRC. La présidence du sous-comité d'expérimentation fut assurée jusqu'en 1976 par W.J. Heikkila, de l'Université du Texas à Dallas, puis par G.G. Shepherd, de l'Université York à Toronto.

Tandis que se déroulait le programme, les expérimentateurs raffinèrent leurs techniques d'analyse et élargirent leurs champs d'étude, si bien que les satellites purent mieux explorer l'ionosphère et la magnétosphère. Indépendamment des grandes études prévues et menées à bien dans le cadre de la mission du groupe de travail, beaucoup d'informations ont ainsi été mises à la disposition de la collectivité par le canal des centres mondiaux de données et servent aux chercheurs du monde entier. Elles sont fort appréciées pour leur haute qualité, la durée des relevés et la variété des observations interdépendantes simultanées offertes à la comparaison avec d'autres, qu'elles émanent de stations au sol ou de satellites.

#### Exploitation des satellites

Cette responsabilité revint au Canada, pour les Alouette comme pour les ISIS, et l'exploitation se fit au moyen du matériel de commande installé au CRTD (plus tard le CRC) dans les limites du programme expérimental établi par le groupe de travail.

Une fois lancé, chaque satellite fit l'objet d'une série de manœuvres destinées à le placer sur son orbite, à lui donner l'orientation et la rotation voulues, à déployer ses antennes et à ériger ses sondes et autres structures. Venaient ensuite les tests permettant de vérifier le fonctionnement des systèmes de l'engin et du matériel d'expérimentation embarqué. Les essais terminés de façon satisfaisante, le satellite était alors considéré comme « bon pour le service » et capable de fournir à chaque expérimentateur les données dont il avait besoin. Les opérations comprenaient :

- a) La détermination de l'état du satellite en vérifiant différents paramètres de fonctionnement tels la température, la tension et le courant de charge des batteries, l'orientation et la vitesse de rotation du satellite.
- b) La modification de l'orientation de l'axe de rotation des satellites ISIS en fonction des besoins des expérimentateurs; deux des orientations les plus demandées étant la parallèle au plan orbital (alignée sur l'orbite) et l'orthogonale à celui-ci (dite la roue).

- c) La détermination précise de la position du satellite et la prévision de ses positions sur plusieurs semaines au profit des expérimentateurs et des contrôleurs de vol.
- d) La préparation d'un calendrier hebdomadaire de travail spécifiant les configurations ou modes d'exploitation utilisables pour les expériences.
- e) La transmission des programmes de travail détaillés à toutes les stations au sol, chacune envoyant alors au satellite des instructions durant les quelques vingt minutes allouées, puis se remettant en sommeil. Au cours du programme Alouette-ISIS, cette formule a intéressé 47 stations qui envoyaient des signaux aux satellites et en recevaient des données, deux douzaines fonctionnant toujours simultanément. Huit seulement sont encore actives, dont deux, Ottawa au Canada et Winkfield en Angleterre, ont contribué en permanence au programme depuis septembre 1962.
- f) L'enregistrement au sol, sur bande magnétique, des données émanant des satellites. Les bandes étaient ensuite envoyées à un centre de traitement, le principal étant le CRTD pour les données Alouette. Pour les satellites ISIS, la majeure partie du traitement des ionogrammes s'est faite depuis neuf ans au CRC, le GSFC (Centre de vol spatial Goddard de la NASA), voisin de Washington, se chargeant de la plupart des autres données. Quant aux participants étrangers, plusieurs traitèrent eux-mêmes les ionogrammes qu'ils recevaient. Ils en envoyaient alors des copies au groupe de travail et faisaient parvenir les rubans d'origine au GSFC ou au CRC pour traitement plus poussé. Au plus beau du programme, la production d'une journée type était de 25 km de rubans magnétiques. La logistique correspondante n'était donc pas une petite affaire.
- g) La fourniture à chaque expérimentateur des données dont il avait besoin, y compris les données auxiliaires, leur étalonnage et le contrôle de leur qualité revenant à l'expérimentateur.
- h) Le traitement rapide occasionnel de données peu compliquées, effectué à la station au sol d'Ottawa sur demande des expérimentateurs. Il faisait gagner beaucoup de temps pour la mise en œuvre des calendriers et des modifications opérationnelles par rapport au cycle normal de traitement.

La souplesse et l'étendue des activités des satellites Alouette-ISIS ont énormément contribué au succès scientifique du programme, et il faut ici mentionner le dévouement extraordinaire de l'équipe de contrôleurs de la station au sol d'Ottawa qui, sous la direction presque constante de J.D.R. Boulding, se sont dépensés sans compter.

### Résultats scientifiques

On ignorait pratiquement tout de l'ionosphère au-delà d'une altitude de 300 km au début du programme. Les seuls renseignements existants étaient les quelques mesures effectuées au moyen de fusées et de matériel au sol très coûteux installé dans plusieurs endroits isolés. Les idées étaient donc plutôt fragmentaires. Les choses sont maintenant totalement différentes, en grande partie grâce à la masse de données des satellites Alouette et ISIS. À lui seul, Alouette I a produit plus de deux millions d'ionogrammes durant ses dix années d'existence, sans parler des autres expériences faites à bord qui ont aussi donné d'excellents résultats. Ses successeurs dans le programme ont eux aussi « parlé » beaucoup et longtemps, les deux ISIS le faisant encore. Une grande partie de ces renseignements se trouvent dans les centres mondiaux de données qui les tiennent à la disposition du monde scientifique. Les analyses partielles qui en ont déjà été faites ont fourni un capital inestimable d'informations sur l'ionosphère, et se sont traduites par plus de 600 publications scientifiques dont plus de 280 à partir d'Alouette I. La connaissance de l'ionosphère, objectif final du programme, a donc fait des progrès plus que substantiels.

Les pages qui suivent passent en revue quelques-uns des principaux résultats obtenus. Purement indicatives, elles ne sauraient rendre justice aux travaux accomplis et nous conseillons au lecteur avide de renseignements détaillés de consulter la bibliographie ci-jointe.

Le résumé proposé se divise en quatre parties. La première mentionne les résultats obtenus sur la répartition de l'ionisation et les interprétations physiques correspondantes. La seconde traite des autres radiomessures, la troisième fournissant des indications sur certaines des constatations faites par sondage ou par expériences sur les particules. La dernière évoque les mesures optiques expérimentales et leurs relations avec les autres observations de l'ionosphère.

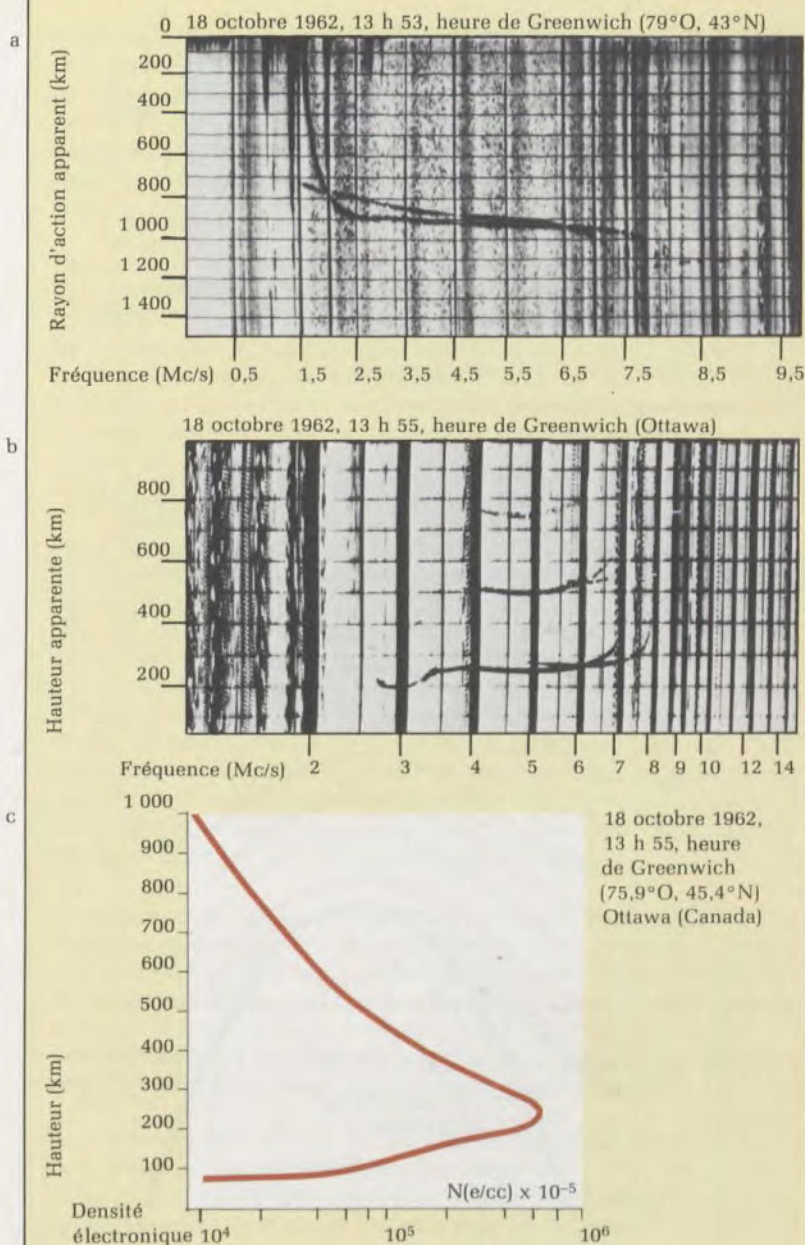
Compte tenu de la nature internationale du programme qui repose sur de nombreuses études associées, il est presque impossible de procéder à une ventilation nationale des découvertes scientifiques effectuées. Les participants se sont en effet partagé les données en toute liberté, tout en respectant la paternité de chaque expérimentateur. Nous n'avons donc pas essayé de répartir les réalisations par pays. Notons cependant que les six satellites du programme Alouette-ISIS ont beaucoup inspiré les scientifiques. Sur les 603 communications publiées avant août 1979 dans des journaux ultra-sérieux, 203 avaient pour auteurs des Canadiens, 223 des Américains, 44 des Britanniques, 37 des Russes, 33 des Japonais, 22 des Français, les 41 restantes se répartissant entre 10 autres pays.

### *Répartition des électrons*

L'instrument utilisé le plus souvent pour l'étude de la répartition de l'ionisation fut l'ionosonde à balayage de fréquences qui produisait des données sous forme d'ionogrammes. À partir de ceux-ci, on établissait des profils verticaux de la densité des électrons entre la zone d'ionisation maximale (environ 300 km en général) et l'altitude du satellite. Ces profils verticaux permettaient ensuite d'établir les structures statistiques de la répartition des électrons dans l'ionosphère de couverture tel qu'illustré.

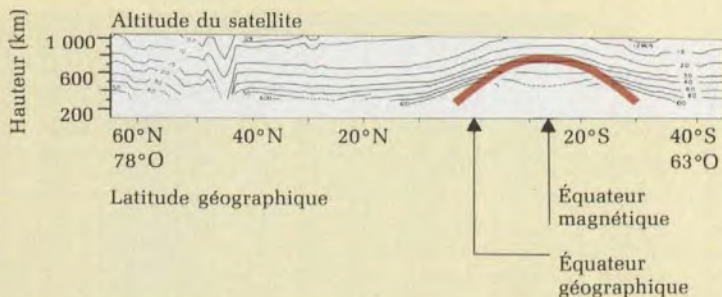
La figure 28a est un ionogramme d'Alouette I. La partie dépassant la crête d'ionisation à 250 km (figure 28c) montre le profil correspondant à la densité électronique de l'ionogramme calculée par ordinateur. Pour le compléter, on a obtenu les résultats d'observations faites au sol à peu près au même moment et au même endroit. On voit l'ionogramme de la couche inférieure sur la figure 28b et la répartition correspondante des électrons calculée se trouve à la figure 28c, dans la partie inférieure à 250 km. Ce profil donne une représentation type de l'ionosphère entre à peu près 100 et 1 000 km, zone où se situe l'essentiel de l'ionisation.

L'absence de données convenables sur la partie inférieure de l'ionosphère a malheureusement souvent empêché de compléter les profils verticaux, limitant les études à la couverture. Les structures d'ionisation, qui ont été établies à partir d'une suite de sondages par satellite, représentent la densité électronique en fonction de l'altitude et de la latitude, à un moment précis du jour et de l'année, dont la figure 29 donne un exemple. Obtenus à d'autres moments, des diagrammes similaires montrent les caractéristiques principales de l'ionosphère et leurs changements



**Figure 28**

- a) Ionogramme d'Alouette I obtenu au-dessus d'Ottawa.  
 b) Ionogramme obtenu à peu près simultanément avec le matériel d'une station terrienne à Ottawa.  
 c) Déduction du profil de l'ionisation d'après les deux ionogrammes ci-dessus.

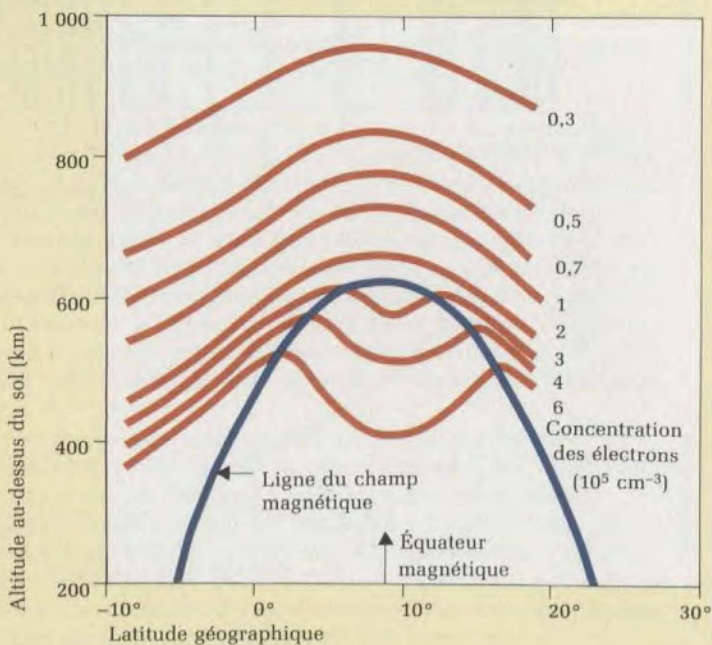


24 octobre 1962, 23 h 18, heure de Greenwich

— Ligne du champ magnétique

**Figure 29**

Contours de la densité électronique (avec la fréquence de plasma correspondante en MHz) suivant l'altitude et la latitude géographique pour un passage d'Alouette I approchant de 70 degrés de longitude ouest le 24 octobre 1962, à environ 18 heures, heure locale. On voit l'équateur géomagnétique, sur lequel a été tracée une ligne du champ magnétique à titre de référence.



**Figure 30**

Contours de la densité électronique en fonction de l'altitude et de la latitude géographique pour le passage nord-sud d'un satellite au-dessus de la région équatoriale. On voit l'emplacement de l'équateur magnétique ainsi que le dessin d'une ligne du champ magnétique.

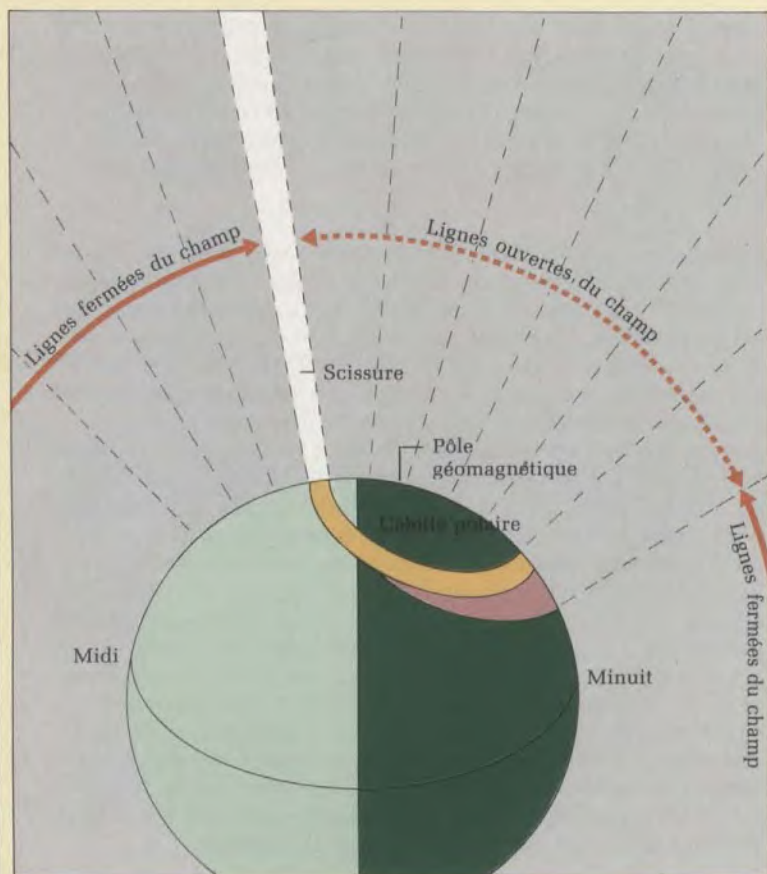


suivant les diverses conditions. Le capital de renseignements obtenu à cet égard depuis vingt ans comprend un échantillonnage des répartitions suivant la latitude et la hauteur à toutes les heures du jour, durant toutes les saisons, au cours de la totalité des phases des 11 années du cycle des taches solaires, durant toute une série de perturbations et jusqu'à des hauteurs atteignant 3 500 km.

L'ionosphère se modifiant constamment, cette masse de données était indispensable pour déterminer le schéma d'ionisation autour du globe et, à partir de là, les divers mécanismes physiques qui les produisaient. Quelques-unes seulement des caractéristiques de la couverture avaient été prévues, et il fallait des travaux systématiques pour isoler et comprendre les nombreuses autres. Les diagrammes du type de la figure 29 illustrent un certain nombre de ces caractéristiques. On peut rattacher les variations latitudinales à l'ionisation produite par les ultraviolets émanant du Soleil et à une certaine redistribution thermique. Cette dernière dépend très largement du champ magnétique et l'on s'en rend surtout compte dans la région équatoriale où les lignes de densité électronique sont parallèles aux lignes du champ en haute altitude. La figure 30 présente plus en détail cette caractéristique particulière à l'équateur. La crête des densités électroniques, qui a son centre sur l'équateur magnétique, est moins accentuée aux altitudes inférieures et est alors remplacée par deux pointes situées de part et d'autre de l'équateur magnétique. C'est un phénomène uniquement diurne; il commence à se former peu après le lever du soleil et disparaît en fin d'après-midi. Baptisé *l'anomalie équatoriale*, il est dû à l'emprise très forte du champ géomagnétique sur les déplacements de l'ionisation.

Aux latitudes moyennes, les courbes de densité électronique diurnes sont relativement douces et se modifient lentement, d'où l'on peut déduire que la répartition y serait simplement le résultat de l'ionisation solaire et de la recombinaison. La nuit, par contre, la source d'ionisation ayant disparu, ces mêmes courbes deviennent extrêmement irrégulières, ce qui laisse à penser qu'interviennent d'autres phénomènes que la simple recombinaison.

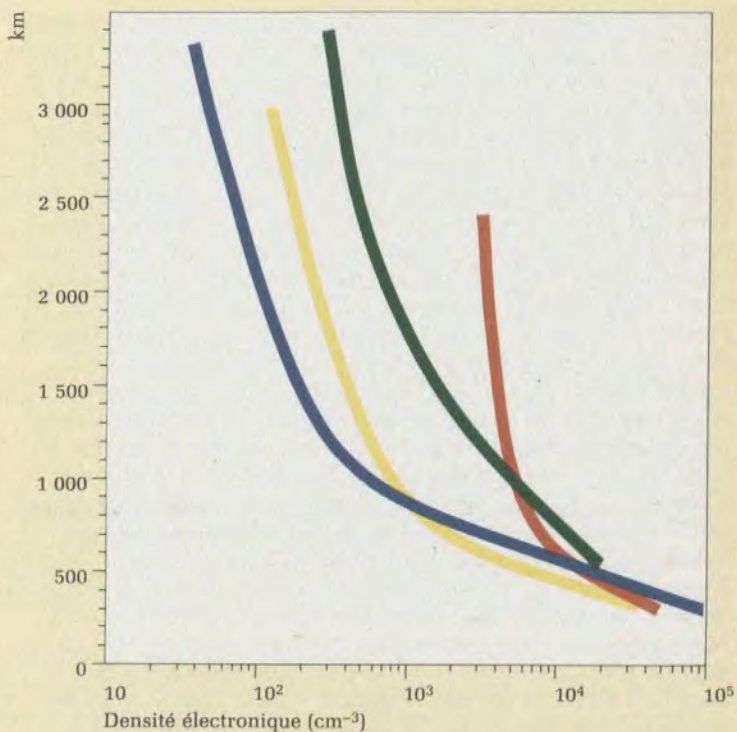
Aux latitudes plus élevées, les variations temporelles et spatiales des courbes de densité électronique s'accroissent, avec des pointes et des creux latitudinaux nombreux. L'influence ionisante des particules chargées arrivant de l'espace y est importante et s'exerce presque toujours à un degré ou à un autre, ce qui empêche de comprendre dans le détail les modalités complexes de l'ionisation, de la recombinaison et de la redistribution, en particulier au cours des périodes perturbées.



- Ovale auroral
- Creux

**Figure 31a**

Schéma de la Terre représentant l'ovale auroral, la scissure et le creux de latitude moyenne par rapport aux lignes du champ géomagnétique qui ne figurent que sur le plan méridien.



- Calotte polaire
- Champ magnétique fermé
- Scissure
- Plasmasphère

**Figure 31b**

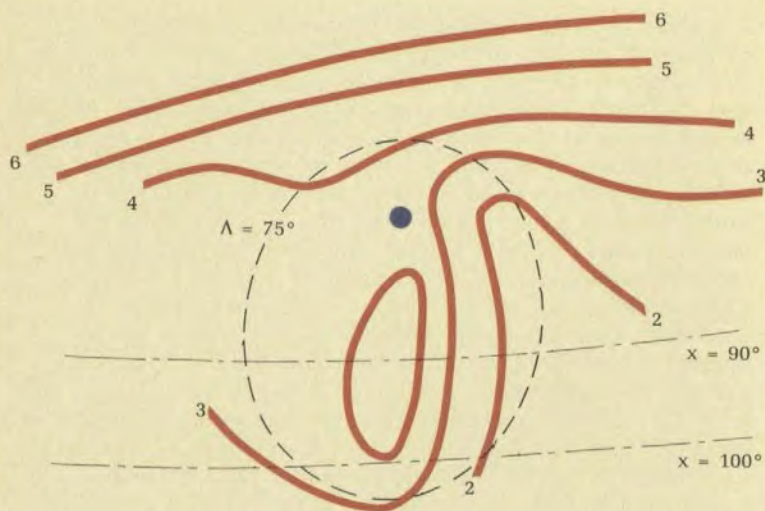
Profils de hauteur caractéristiques de la densité électronique pour quatre régions différentes de l'ionosphère, soit la calotte polaire, la région à latitude moyenne où les lignes du champ sont fermées, la scissure et la région à latitude basse dans la plasmasphère.

L'étude poussée des données, et tout particulièrement des profils verticaux aux différentes latitudes, révèle des différences systématiques liées à la configuration du champ magnétique et à son influence dominante (voir figure 31a). À la hauteur de la calotte polaire, où les lignes du champ s'ouvrent dans la queue de la magnétosphère (voir figure 10), les densités de couverture sont plutôt faibles étant donné que l'ionisation peut se déplacer assez librement vers le lointain. Du côté diurne, il se produit dans la région de la scissure une ionisation supplémentaire due aux particules solaires pénétrant dans la magnétosphère par ce passage étroit. Aux latitudes moyennes, où les lignes de champ sont rapprochées, les profils diurnes verticaux sont relativement réguliers et les densités beaucoup plus fortes que dans la région de la calotte polaire, du fait de l'illumination solaire plus intense et des effets restrictifs du champ géomagnétique. Ce caractère s'accroît dans la plasmasphère au fur et à mesure que diminuent les latitudes, avec des densités encore grandes à la plupart des altitudes. La nuit, les lignes de champ d'une région assez étroite située immédiatement au-delà de la plasmopause et qui sont serrées durant la journée, s'étirent jusqu'à probablement s'ouvrir. L'ionisation qui s'y produit pouvant se déplacer vers la queue, les densités enregistrées sont pour cette raison toujours beaucoup plus faibles dans une ceinture assez réduite allant de 60 à 65° de latitude géomagnétique, formant une dépression qui a reçu le nom de « creux de latitude moyenne ». (On peut voir un exemple de creux situé à 45° N. de latitude géographique à la figure 29, page 78.)

Aux latitudes plus élevées, où les particules chargées en provenance de l'espace provoquent une ionisation supplémentaire importante, cet apport se traduit par des caractéristiques identifiables. Celles que l'on rencontre le plus régulièrement sont a) les poussées d'ionisation de la mi-journée associées à la scissure (de 75 à 80° environ de latitude géomagnétique), b) les augmentations de l'ionisation du milieu de la nuit aux latitudes aurorales (de 65 à 70° environ de latitude géomagnétique) provoquées par les arrivées sporadiques d'électrons à faible et moyenne énergie associés aux processus auroraux, et c) la présence très fréquente, presque constante, de structures d'ionisation réduite et d'irrégularités. À celles-ci correspond une extension, un étirage des traces d'écho apparaissant sur les ionogrammes, qui indique une propagation sur plusieurs voies et un éparpillement des ondes radioélectriques de l'ionosonde renvoyées par les nombreuses structures d'ionisation réduite.

L'un des objectifs principaux de l'étude était l'établissement d'un ou plusieurs modèles améliorés des variations caractéristiques de l'ionosphère en fonction de l'altitude, de la situation géographique, de l'heure, du géomagnétisme et de l'activité solaire. Modèle ne signifie pas ici une représentation matérielle, mais la présentation synthétique d'un vaste ensemble de données permettant aux télécommunicateurs radio de mieux prévoir les conditions de fonctionnement à tout instant et en tous lieux. Compilés par des organismes comme le Comité consultatif international des radiocommunications (CCIR), à partir de données provenant d'ionosondes au sol, les modèles ionosphériques précédents pouvaient désormais être considérablement améliorés par les données des satellites, le tout se traduisant par des progrès importants des radiocommunications en ondes courtes. Dans ce but, le CRTD procéda régulièrement à la graduation des ionogrammes Alouette I afin d'obtenir les densités électroniques à 1 000 km et à la crête de la couche F. Compilées ensuite pour 1,5 million d'ionogrammes environ, ces données synoptiques furent précieuses pour la modélisation. On put établir ainsi plusieurs modèles informatiquement accessibles qui servent toujours beaucoup aux télécommunicateurs malgré les progrès constants.

Outre l'étude de la répartition générale de l'ionisation au profit de la modélisation, les recherches portèrent sur des caractéristiques et phénomènes nombreux plus localisés et fort intéressants. La couverture de l'ionosphère présente typiquement de grandes irrégularités dont la plupart s'alignent sur le champ géomagnétique et se retrouvent à toutes les latitudes. S'étendant souvent d'un hémisphère à l'autre aux latitudes basses, elles sont moins fréquentes aux latitudes moyennes, mais toujours présentes dans l'ionosphère aux latitudes élevées. De ce fait, les ionogrammes de couverture diffèrent sensiblement de l'exemple simpliste de la figure 23, page 62. Les variations et anomalies constatées ont révélé un certain nombre de phénomènes très particuliers et de caractéristiques ionosphériques intéressantes qui ont reçu des noms fort imagés du type : bancs, nuages, nappes et gaines. Cela pour dire que l'ionosphère est un milieu dynamique influencé par une quantité de facteurs très divers, en grande partie de la même manière que les systèmes météorologiques dans la basse atmosphère. La quantité et la qualité remarquables des données collectées ont de ce fait montré que, comme en météorologie, il y avait dans l'ionosphère des tendances et des caractéristiques de comportement quelquefois très subtiles.



25 avril 1971, 4 h 40, TU

● Pôle géographique

**Figure 32**

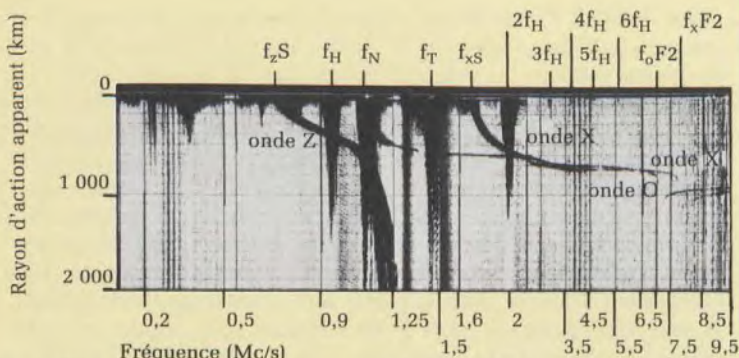
Contours de la densité électronique (avec la fréquence de plasma correspondante en MHz) à la crête de la couche F sur les régions du pôle nord. On voit sur ce schéma le pôle nord géographique ainsi que la latitude géomagnétique constante de 75°;  $x$  est l'angle que fait le zénith avec le Soleil. On a aussi représenté deux contours de l'angle zénith-Soleil constant - à  $x$  valeurs de 90° et 100° - pour montrer que le rayonnement solaire ne régit pas les profils d'ionisation sauf dans l'ionosphère éclairée par le Soleil.

Ainsi en est-il d'une série d'ionogrammes fournis par chacun des trois satellites (Alouette II, ISIS I et ISIS II) alors qu'ils se croisaient presque au même moment dans la région polaire. Leurs données furent ensuite traitées et combinées pour produire des diagrammes à partir des courbes de densité électronique à différentes hauteurs définies. La figure 32 présente l'un de ces « instantanés » de la répartition horizontale de l'ionisation au sommet de la couche F dans la région de la calotte polaire. Dans l'ionosphère ensoleillée, les courbes de densité s'alignent sur les lignes d'inclinaison zénithale constante, mais, au-dessus du pôle, l'ionisation déborde dans la partie non éclairée de l'ionosphère. À cela correspond de toute évidence dans cette région un mouvement horizontal fort important, une convection de l'ionisation que la théorie avait prédite mais que l'on n'avait jamais observée jusque-là.

#### *Autres résultats des radiomesures*

La concentration initiale des efforts sur les ionogrammes permit d'obtenir une grande quantité de données sur la répartition générale des électrons, mais l'effort se relâcha au fur et à mesure que se révélèrent de nouveaux phénomènes ou que l'intérêt croissait pour d'autres aspects du programme. On commença à chercher dans les données du sondeur les anomalies pouvant indiquer des phénomènes inconnus ou, à partir des mesures éloignées fournies par les satellites, confirmer ou compléter d'autres observations. L'échelle des données temporelles et spatiales des sondeurs à fréquence fixe était en outre bien plus fine que celle des appareils à balayage en fréquences et cela était précieux pour certaines études.

Les résonances ionosphériques ont constitué l'une des caractéristiques frappantes et plutôt imprévues des ionogrammes. Elles se manifestent, à certaines fréquences, sous forme de pointes, de signaux de longue durée dont on peut voir des exemples à 0,95, 1,10, 1,48 et 1,85 MHz à la figure 33. Ces résonances ne sont pas le résultat d'une réflexion d'énergie à une certaine distance des satellites comme dans le cas des relevés normaux des ionogrammes. Elles correspondent plutôt à la libération, après un certain délai, de l'énergie du sondeur emmagasinée par l'ionisation locale.



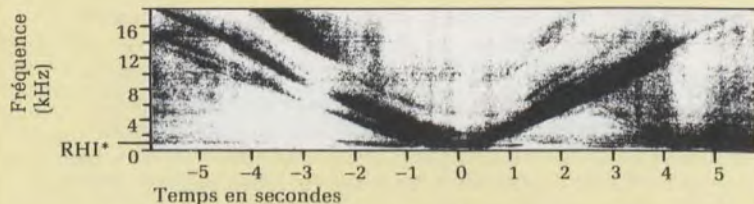
Février 1966, 17 h 02, heure de Greenwich (66°O, 33°N)

Altitude du satellite 900 km

**Figure 33**

Échantillonnage d'ionogramme Alouette II présentant plusieurs résonances.

On a utilisé les symboles suivants :  $f_N$  pour la fréquence de plasma au satellite;  $f_T$ , fréquence hybride supérieure au satellite;  $f_H$ , la fréquence gyromagnétique; et  $2f_H$ ,  $3f_H$ ,  $4f_H$ , etc., les harmoniques de la fréquence gyromagnétique.



ISIS II, 27 novembre 1971, 4 h 18 m 32 s, TU  
Altitude du satellite 1 428 km  $\lambda = 69^\circ$  TLM 0 h 39

\*résonance hybride inférieure

**Figure 34**

Échantillon d'enregistrement par le récepteur TBF d'ISIS II sur lequel on voit des traces caractéristiques baptisées « soucoupes » résultant d'un type d'émission radio.



Les résonances se produisent à certaines fréquences caractéristiques du plasma ionosphérique, et dont l'une s'appelle la fréquence de plasma où les électrons oscillent pour rétablir l'équilibre lorsque celui-ci est rompu. Une autre, baptisée la fréquence de plasma transverse ou hybride supérieure, est le résultat d'oscillations transversales au champ magnétique. La résonance gyromagnétique des électrons correspond, elle, à la fréquence de la giration d'un électron dans le champ magnétique. D'autres résonances apparaissent à des fréquences combinées et à des multiples de la fréquence gyromagnétique, ou impliquent les fréquences gyromagnétiques de certains des ions positifs. La liste des résonances ionosphériques identifiées grâce aux données des satellites Alouette et ISIS est maintenant fort longue.

Tout comme les récepteurs très basse fréquence (TBF), les sondeurs ionosphériques se sont révélés des outils bien adaptés à ce genre de recherches sur la physique des plasmas. En effet, alors qu'en laboratoire, au sol, il est très difficile de produire des plasmas dont les propriétés ne soient pas dominées par les effets des parois du récipient, l'ionosphère entourant les satellites constitue un plasma sans parois essentiellement uniforme, situation idéale pour certaines études.

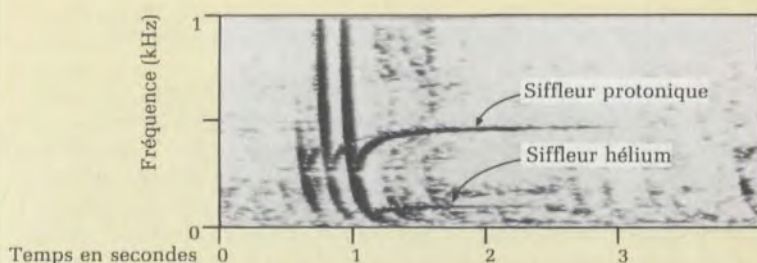
Les résonances dont nous venons de parler sont stimulées par l'émetteur du satellite à des fréquences caractéristiques du plasma. Certains phénomènes ionosphériques naturels, comme l'arrivée des particules énergétiques, peuvent également stimuler cette résonance dans le plasma avec accompagnement d'émissions radioélectriques. On en a relevé dans les données de satellites relatives aux bruits cosmiques et dans celles des récepteurs TBF.

On a baptisé résonance hybride inférieure le phénomène ainsi observé par les récepteurs TBF. Il s'agit d'émissions de bruits radioélectriques déclenchées par les précipitations de particules aux latitudes élevées. Elles ont un mode de coupure basses fréquences très net qui peut servir à déterminer la masse moyenne des ions positifs. Cela s'est révélé une technique utile au début du programme avant qu'on ne dispose des données des spectromètres ioniques de masse. Les résultats de la résonance hybride basse ont également servi, concurremment aux profils de densité électronique, à déterminer les températures électroniques qui n'avaient pu être mesurées avec Alouette I.

Il existe d'autres émissions TBF à citer, dont les *siffleurs* et celles que l'on a baptisées des *soucoupes*. La figure 34 fournit un exemple de ces dernières, produites par l'arrivée d'un faisceau d'électrons énergétiques. Les *siffleurs* tirent leur nom du fait que leur fréquence décroît avec le temps. Ils sont provoqués par les éclairs terrestres qui produisent des explosions de courte durée de parasites radio large bande qui, après avoir rayonné dans l'ionosphère, se déplacent le long de gaines d'ionisation enrichie parallèlement au champ magnétique. Les éléments composant leurs fréquences ne se déplacent pas à la même vitesse, ce qui provoque la diminution de tonalité caractéristique observée. L'étude des *siffleurs* voyageant d'un hémisphère à l'autre dans les gaines d'ionisation qui franchissent l'équateur a conduit à d'importantes conclusions sur la structure et le contenu de la plasmasphère.

Une autre caractéristique relevée chez certains *siffleurs* est une élévation de tonalité distincte approchant la fréquence gyromagnétique des protons. On les avait appelés *siffleurs* protoniques au début de la collecte des données des satellites et leur analyse détaillée a permis de déterminer des concentrations de protons dans le plasma entourant les satellites. On identifia par la suite les *siffleurs* hélium, et l'étude de ces *siffleurs* ioniques a fourni des renseignements sur l'abondance relative des trois principaux ions (hydrogène, hélium et oxygène) au-dessus des hautes régions échantillonnées. On verra des exemples de ces *siffleurs* à la figure 35.

Les observations effectuées avec les récepteurs de bruits cosmiques ont révélé un certain nombre de bandes d'interférence dont l'origine était liée à la précipitation de particules chargées. D'autres études s'adressaient aux émissions parasites d'origine galactique que l'on appelle souvent bruits cosmiques, ainsi qu'à plusieurs émissions parasites solaires. Comme pour bien d'autres observations du programme Alouette-ISIS, on commença par des mesures exploratoires. Les bruits cosmiques basses fréquences ne traversent pas l'ionosphère et l'on n'avait donc pu jusqu'ici en faire des mesures étendues. De la même manière, les émissions parasites solaires — importantes pour l'étude de l'éjection de particules par le Soleil — n'avaient jamais été observées dans cette partie du spectre. La figure 36 présente des explosions de parasites solaires relevées concurremment à des observations au sol.

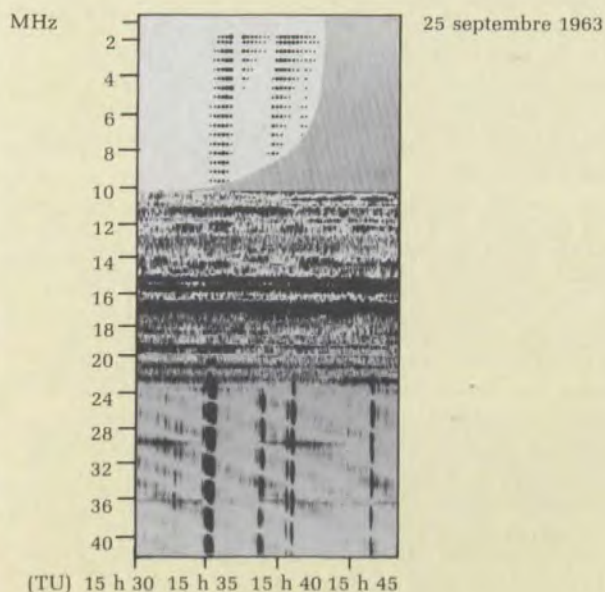


Altitude du satellite 1 190 km

4 octobre 1966, 3 h 47 m 58 s, heure de Greenwich (100°O, 35°N)

**Figure 35**

Exemples de siffleurs apparaissant dans les enregistrements du récepteur TBF d'Alouette II. La fréquence des siffleurs ordinaires décroît avec le temps. Les siffleurs protoniques et hélium sont d'abord caractérisés par une élévation de tonalité qui devient ensuite constante. L'analyse de ces traces a permis d'observer une quantité appréciable d'ions positifs au voisinage du satellite; 75 p. 100 d'hydrogène, 21 p. 100 d'hélium et 7 p. 100 d'oxygène.



**Figure 36**

Exemples d'explosions de parasites solaires sur les enregistrements des fréquences en fonction du temps faits grâce à des récepteurs au sol (gamme de fréquences supérieure à 10 MHz) et au récepteur de bruit cosmique du satellite Alouette I (fréquences inférieures à 10 MHz). Le brouillage radioélectrique atténue les explosions solaires entre 10 et 20 MHz, mais en dehors de cette bande, on peut les distinguer clairement. Elles s'étalent un peu plus dans le temps et sont retardées aux fréquences les plus basses.

### *Sondes électrostatiques et particules énergétiques : résultats*

Les observations faites avec des sondes électrostatiques ont fourni de nombreuses données synoptiques sur la répartition et la température globales des électrons. Celles sur la répartition correspondent en gros aux données du sondeur; à noter cependant que les sondes procèdent à des relevés plus fréquents de l'ionosphère et que leurs données conviennent mieux à l'étude des irrégularités. Les données des sondes ne s'appliquent évidemment qu'aux altitudes des satellites puisque ces instruments n'échantillonnent que l'espace immédiatement voisin.

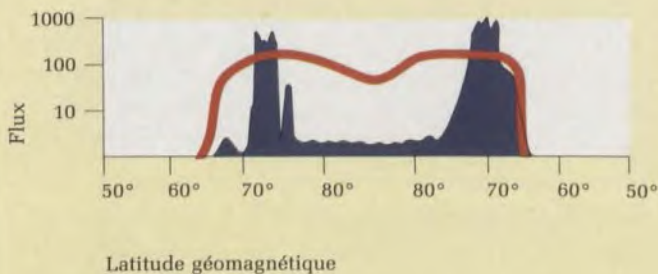
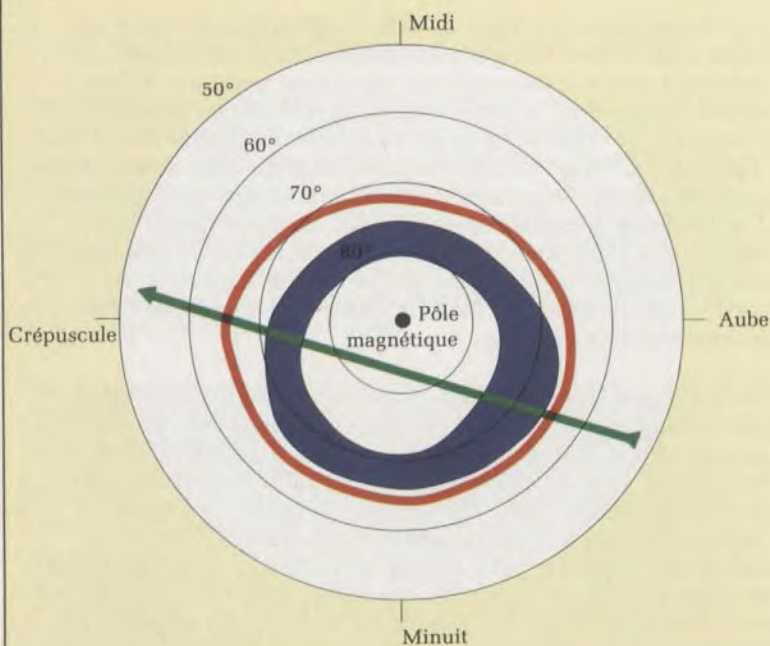
Les sondes ioniques, et en particulier les spectromètres ioniques de masse, ont fourni des renseignements précis sur les variétés d'ions aux différentes altitudes et latitudes de l'ionosphère. Couplée aux observations faites dans les régions polaires d'un flux vertical d'ions hydrogène, leur étude statistique confirme le concept de l'existence du vent polaire et permet de clarifier certains aspects théoriques des modèles ionosphériques. Là où les lignes du champ magnétique s'ouvrent dans la queue de la magnétosphère, les ions hydrogènes (et les électrons) peuvent s'échapper dans celle-ci sous forme de vent polaire général. Par contre, aux latitudes basses, les ions les plus légers flottent au-dessus des plus lourds mais ne peuvent s'échapper dans la queue à cause de la configuration du champ magnétique.

Les expériences Alouette I sur les particules énergétiques ont été conçues immédiatement après la découverte, par certains des premiers satellites américains, du piégeage géomagnétique de ces particules. Travaillant sous l'égide de D.C. Rose et I.B. McDiarmid du CNR, les chercheurs canadiens avaient conclu qu'Alouette I pourrait leur fournir une excellente occasion d'appliquer à l'espace leur étude des rayons cosmiques. Leur don de persuasion aboutit à l'inclusion d'expériences sur les particules énergétiques dans le programme en vue d'étudier les ceintures de Van Allen et leurs relations avec l'activité aurorale et les autres phénomènes ionosphériques. Or, ces travaux ont débouché d'une façon imprévue sur la mesure de l'affaiblissement des particules énergétiques artificiellement injectées dans les ceintures de rayonnement lors de l'essai nucléaire en haute altitude Starfish de 1962 qui, entre autres choses, provoqua la détérioration accélérée des photopiles d'Alouette.

Les divers détecteurs d'ions et d'électrons embarqués pour ces expériences à bord des quatre satellites avaient été installés de manière à pouvoir déterminer la répartition angulaire des particules énergétiques, compte tenu de la rotation du satellite. À l'exception de celles se trouvant dans la petite gamme des angles d'inclinaison voisins de zéro (la population du cône de perte), ces particules restent longtemps piégées par le champ géomagnétique. L'appareillage des satellites permet ainsi des observations abondantes de la répartition des particules en fonction de l'énergie, des coordonnées magnétiques, de l'angle d'inclinaison et de l'activité géomagnétique. Voici quelques-uns des résultats fort intéressants ainsi obtenus.

On a constaté que les données relatives aux électrons énergétiques présentent des différences caractéristiques lorsqu'on les compare suivant la latitude magnétique, ce qui a permis de distinguer les lignes fermées du champ géomagnétique (c'est-à-dire celles directement liées à l'autre hémisphère) de celles qui s'ouvrent dans la queue de la magnétosphère. La possibilité d'utiliser la distribution angulaire pour séparer les particules piégées pendant un certain temps des particules précipitées a été très précieuse pour l'étude des effets ionosphériques de cette précipitation. Les particules en question peuvent pénétrer profondément dans l'atmosphère, jusque dans la couche inférieure E, voire quelquefois plus bas, où elles peuvent provoquer une ionisation supplémentaire qui absorbe les ondes radio. C'est pourquoi l'arrivée de ces particules est souvent associée aux affaiblissements et à la disparition des télécommunications HF fondées sur le pouvoir réfléchissant des couches E ou F de l'ionosphère. On a ainsi déterminé deux principaux types d'absorption des ondes radio : l'absorption polaire et l'absorption aurorale, dont il a été tenu compte pour l'analyse des données sur les particules fournies par les satellites.

L'absorption polaire intervient au-dessus de la totalité de la calotte polaire dans les deux hémisphères. Elle est associée à une intense activité solaire, qui correspond à de violentes éruptions à la surface du Soleil. Celles-ci projettent dans l'espace des protons énergétiques dont certains, atteignant le champ géomagnétique, sont véhiculés vers les régions polaires où ils précipitent au-dessus de l'ensemble de la calotte polaire, comme on peut le voir à la figure 37. Cette arrivée brutale provoque une absorption neutralisante des ondes radio qui peut durer plusieurs heures et même plusieurs jours. Bénéficiant de leur inclinaison élevée, les satellites Alouette et ISIS ont pu relever d'une façon détaillée les arrivées de particules à ces moments précis.



— Protons solaires ( $\sim 1$  MeV)  
 — Électrons auroraux ( $\sim 3$  KeV)

**Figure 37**

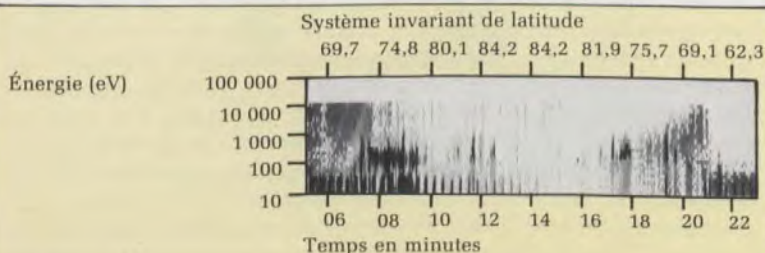
Les arrivées massives de particules observées au passage transpolaire d'ISIS II de l'aube au côté nocturne de la Terre pendant le phénomène des particules solaires des 6-7 mars 1972. L'emplacement de l'ovale auroral y figure pour référence, ainsi que la limite à latitude basse du courant protonique. Le flux des protons solaires et des électrons auroraux est tracé comme fonction de la latitude géomagnétique.

L'absorption aurorale est associée à la précipitation d'électrons liée aux phénomènes auroraux (voir figure 37). Elle est souvent très variable, en particulier aux environs de minuit. L'étude par satellite de cette précipitation des particules s'est progressivement généralisée lorsqu'on a admis que cette arrivée était l'une des phases d'un phénomène magnétosphérique de grande ampleur, les *sous-orages*, qui entraînent durant plusieurs heures des effets caractéristiques de types divers dans l'ensemble de la magnétosphère et de l'ionosphère. Peu après qu'a éclaté un sous-orage, les données satellisées relatives aux latitudes aurorales nocturnes indiquent une arrivée désordonnée d'électrons, souvent accompagnée de fortes explosions apparemment liées aux phénomènes auroraux discontinus et à l'absorption des ondes radio se propageant dans l'ionosphère basse. Ces explosions correspondraient à la partie précipitée d'une population d'électrons chargés en énergie au cours du sous-orage. Le nombre des électrons piégés augmente lui aussi brutalement au même moment, et cette population piégée semble dériver lentement autour de la Terre jusqu'à son arrivée dans le secteur diurne où les particules précipitent progressivement en une — bruine — à peu près uniforme. Ces particules du matin pénètrent dans l'ionosphère basse où elles renforcent l'ionisation, ce qui se traduit par une absorption prononcée des ondes radio.

Les tentatives antérieurement faites pour lier la précipitation des particules aux phénomènes auroraux n'avaient pas été concluantes étant donné le peu d'observations. Les satellites Alouette ne pouvaient observer les aurores et l'on ne pouvait les prédire qu'à partir d'observations faites au moyen de rares caméras au sol ou de mesures de l'absorption des ondes radio. Ces satellites ne fournissaient en outre aucune donnée sur les électrons dans les gammes énergétiques basses convenant à une grande partie des études des divers phénomènes ionosphériques, dont les aurores. Les satellites ISIS, par contre, étaient chacun équipés d'un spectromètre à particules faibles capable de fournir des données correspondant à l'ensemble des gammes énergétiques voulues. ISIS II comportait en outre deux dispositifs expérimentaux optiques fournissant des données sur les aurores. Ces satellites plus récents permirent donc d'obtenir beaucoup de renseignements nouveaux sur la morphologie des particules aurorales. Combinés à d'autres observations et à des constatations antérieures, ils apportèrent des connaissances et des conclusions aussi nombreuses que nouvelles.

L'un des résultats les plus spectaculaires des expériences menées avec le spectromètre à particules faibles a été l'observation d'une arrivée massive d'électrons du côté ensoleillé de la Terre au voisinage de la latitude de la scissure. C'est là une caractéristique très nette, constatée à peu près sans exception à tous les passages, ainsi qu'on peut le voir sur l'exemple de passage du midi au minuit polaires de la figure 38. Cette arrivée de particules correspond à un plasma de vent solaire composé d'électrons basse énergie (qui sont habituellement accompagnés de quelques protons basse énergie) pénétrant directement par la scissure. Elle s'étend normalement sur plusieurs degrés de latitude et sur plusieurs heures de chaque côté du méridien de midi.

La figure 38 montre également des données relatives aux régions polaires. On y constate, en règle générale, que les arrivées d'électrons sont plutôt lentes et faibles, bien qu'elles puissent être explosives à l'occasion. Les arrivées de protons et d'électrons sont habituellement plus fortes dans l'ovale auroral. La précipitation nocturne y varie beaucoup en intensité et en lieu, les énergies ayant tendance à être plus fortes en moyenne que du côté ensoleillé. Aux basses latitudes de l'ovale auroral, le flux est manifestement plus riche en énergie et composé d'électrons arrivant des lignes fermées du champ. Il revêt la forme d'une bruine plus régulière.



**Figure 38**

Données relatives aux électrons fournies par le spectromètre à particules faibles embarqué sur ISIS I le 4 février 1969 entre 2 h 05 et 2 h 23 (temps universel) à un passage transpolaire. On voit l'arrivée d'électrons représentée par la densité de la trace, en fonction de l'énergie et de la latitude géomagnétique. La scissure, qui est marquée par le flux intense de la partie gauche de l'enregistrement à des énergies approximatives de 100 à 300 électrons-volts (eV), s'étend environ de 73 à 78 degrés de la latitude géomagnétique. La partie droite est le résultat du passage du satellite dans l'ovale auroral du côté nocturne de la Terre.



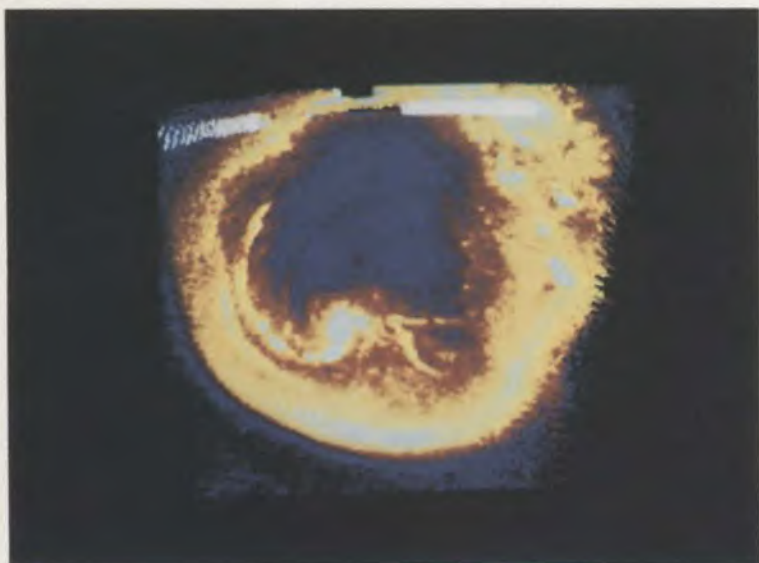
Les résultats de la spectrométrie des particules faibles ont été précieux pour l'étude de l'ionosphère, car ils ont fourni des renseignements détaillés sur l'une des sources d'ionisation. Aux latitudes élevées, les particules entrantes situées dans la gamme énergétique échantillonnée au cours de ces expériences se sont révélées au moins aussi importantes que les ultraviolets solaires. Au cours de la longue nuit polaire, ces particules sont un facteur majeur d'ionisation. Elles contribuent toujours à un grand nombre de phénomènes ionosphériques.

### *Observations optiques*

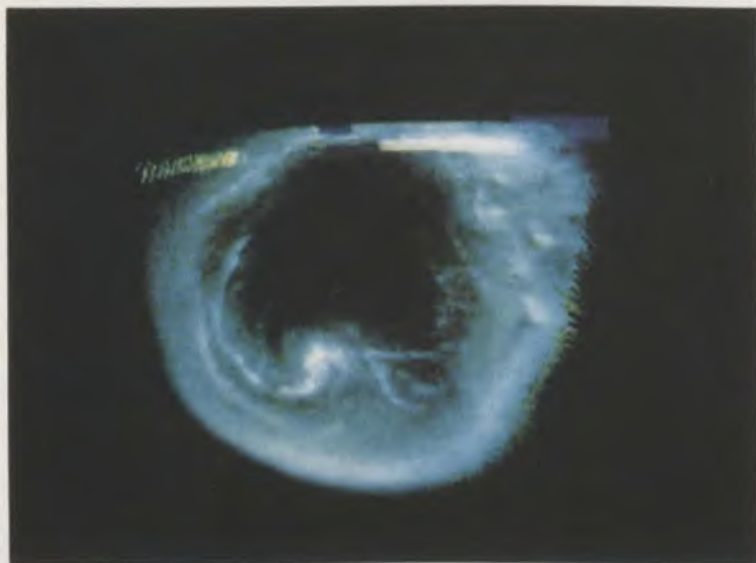
On se rendit compte, dès le démarrage du programme Alouette-ISIS, que les déductions relatives aux arrivées de particules aurorales auraient bien plus de sens si elles s'appuyaient sur des observations aurorales. Tout naturellement, on essaya d'introduire une expérimentation optique sur au moins un des satellites. Deux universités canadiennes, Calgary et York, qui s'étaient beaucoup occupées de l'étude au sol des aurores, proposèrent pour ISIS II des expériences de ce type qu'accepta le groupe le travail. L'appareillage consistait en photomètres avec filtres à bande étroite pouvant enregistrer trois des types d'émissions caractéristiques des aurores. Les photomètres étaient disposés sur le satellite de manière à ce que leurs champs de vision réduits balaient le sol durant les révolutions successives du satellite autour de la Terre. Les expériences portaient, l'une sur la partie rouge du spectre, l'autre sur la partie bleue et sur la partie jaune-vert. Dans chacun des cas, les émissions aurorales intervenaient sous le satellite, en général à une altitude d'environ 100 km. Cela supposait un ensemble de calculs compliqués pour la production de relevés de l'intensité aurorale comparables aux mesures de particules effectuées à bord du satellite. C'est ainsi qu'on pût établir les graphiques de répartition des émissions aurorales et des lueurs au-dessus de la partie obscure de la Terre visible de l'engin.

Ces expériences ont donné certains des résultats les plus spectaculaires du programme. Comme le sondeur, le matériel optique fournit des données recueillies au loin par le satellite. Le sondeur répertorie les densités électroniques dans le plan vertical s'étendant immédiatement sous le satellite, tandis que l'appareillage optique s'applique à un plan presque horizontal situé à une profondeur de 100 km au-dessous du satellite. Les données de balayage optique collectées au cours des révolutions du satellite sont ensuite traitées pour tirer un instantané de l'aurore, dont on voit deux exemples à la figure 39. Chacun montre la totalité de la calotte polaire, l'ovale auroral formant un anneau structuré qui l'entoure complètement.

a



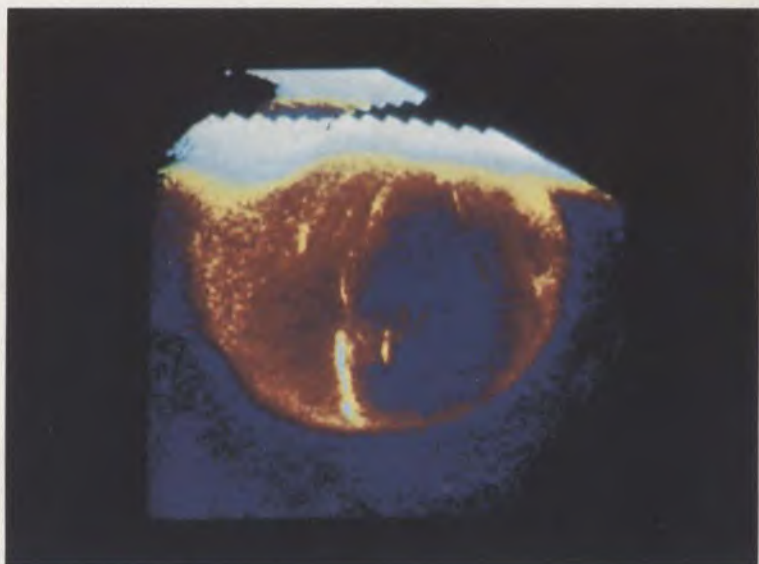
b



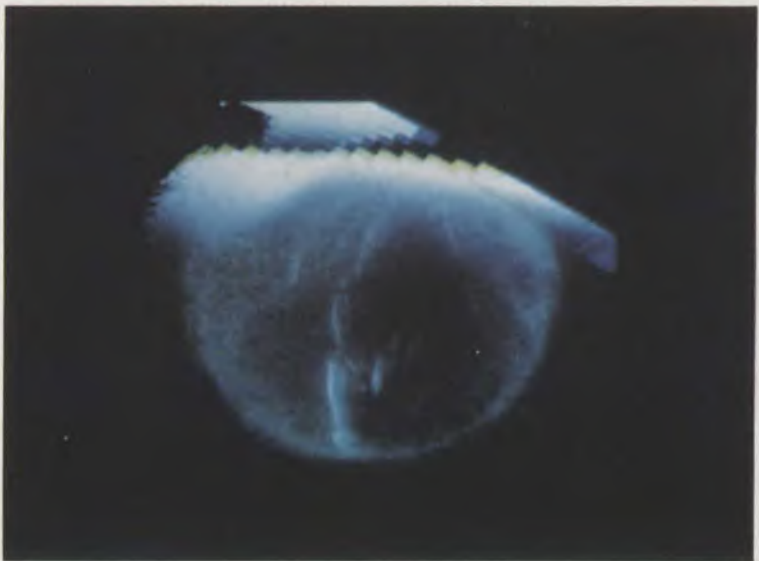
**Figure 39**

Voici deux exemples de résultats du photomètre à balayage auroral d'ISIS II. Deux images de l'aurore ont été chaque fois préparées : a) ne représente pas les vraies couleurs. L'intensité du phénomène est en rouge s'il est faible, jaune s'il est moyen, et blanc s'il est fort; b) illustre un ensemble à intensité pondérée des données obtenues dans les lignes vertes et bleues du spectre; celle-ci ressemble d'assez près à une vraie photo en couleur. Tous les clichés

c



d



montrent la totalité de l'ovale auroral et la calotte polaire. Dans chaque cas, le côté diurne est affecté par la lumière solaire. Remarquez la protubérance vers le pôle près de minuit dans le premier exemple, et les arcs alignés sur le Soleil qui percent la calotte polaire dans le second. Ces figures en couleur ont été préparées avec l'aide des installations de graphiques informatisés du Kitt Peak National Observatory de Tucson (Arizona).

Ces photos par satellite comportent une foule de détails qui ont ouvert de nouveaux horizons sur la morphologie globale des aurores. Elles ont montré que cette activité est en général permanente autour de l'ovale, chose que les données au sol n'avaient pas permis d'établir. Elles ont révélé plusieurs caractéristiques aurorales que les observations terrestres n'avaient pu déceler. Parmi ces phénomènes, citons les aurores diffuses du côté des latitudes basses de l'ovale auroral, les arcs polaires alignés sur le Soleil et les aurores polaires diffuses, de même que les aurores à prédominance rouge du côté ensoleillé de la région de la scissure.

Quelques-unes de ces percées les plus marquantes sont nées de comparaisons entre les données aurorales et les observations effectuées sur les particules par ionosondage ou autrement. Pour la première fois, il a été possible d'étudier en détail l'arrivée des particules de toute charge et de la relier aux intensités aurorales et aux densités ionosphériques qui en résultent. La corrélation entre les données aurorales des divers secteurs de l'ovale et les observations du champ magnétique interplanétaire faites à partir d'un satellite éloigné ont contribué à dévoiler un certain nombre des phénomènes de la queue de la magnétosphère. La haute qualité des données obtenues et l'intercomplémentarité des expériences ont fait du programme un excellent moyen d'étude de tous les aspects de l'ionosphère aussi bien que de nombreux mécanismes auroraux et magnétosphériques associés.

Les données aurorales ont également fait l'objet d'études corrélatives aux mesures par satellite des courants électriques. Une routine d'analyse ingénieuse a fourni pour cela des données sur les courants électriques associés aux aurores circulant le long des lignes du champ magnétique entre la magnétosphère et l'ionosphère. C'était là un « cadeau » inattendu qui a exigé l'analyse détaillée des données du magnétomètre qui avait été embarqué uniquement pour fournir des renseignements sur l'orientation. Ces résultats imprévus se sont révélés des plus intéressants et ont été bien accueillis puisqu'ils menaient à des conclusions nouvelles sur les mécanismes d'excitation aurorale.

Comme pour tous les programmes de recherches florissants, chacun des progrès accomplis posait des problèmes inédits. Les expérimentateurs définissaient alors une série d'observations supplémentaires à faire et demandaient au centre de contrôle des satellites de les programmer aux moments et endroits voulus. Cela déclenchait des recherches spéciales apportant des données et des réponses précises aux questions posées. La plupart de ces études concernaient des données optiques, car elles fournissaient un cadre de référence bidimensionnel pratique pour mieux évaluer les autres observations. C'est ainsi que les satellites ISIS se sont révélés des outils souples et puissants pour l'étude de l'ionosphère et de la magnétosphère.

Le programme ISIS a bien montré la valeur des observations simultanées de l'ionosphère à partir de toute une série d'instruments, les appareils optiques étant particulièrement importants puisqu'ils fournissaient le cadre de référence global dont nous venons de parler. Les données simultanées ISIS II pour des intervalles d'observation choisis ont donc été publiées sous forme de recueils mis à la disposition des autres chercheurs (voir bibliographie). Ces recueils, ainsi que la masse des données déjà déposées dans les centres mondiaux, devraient continuer à servir avec profit longtemps après la fin des activités des satellites.

### Réalisations techniques

Les principales réalisations techniques du programme Alouette-ISIS avaient trait à des aspects précis de la conception, de la construction et du fonctionnement des satellites canadiens. Dès le départ, les responsables savaient qu'il s'agissait d'une entreprise nouvelle et ambitieuse sur les plans scientifique et technique. L'exploration de l'ionosphère de couverture exigeait l'adaptation de techniques terrestres à des satellites, avec toutes les contraintes de volume, de poids et de consommation d'énergie que cela comportait. S'y ajoutait l'énorme défi des exigences supplémentaires de fiabilité et la nécessité de déployer une antenne rigide à partir d'un petit satellite. Il faut rendre hommage aux concepteurs qui ont su atteindre, voire dépasser, tous les objectifs technologiques fixés à la série Alouette originale et à toutes les autres missions.

Alouette I était au moins aussi complexe que n'importe lequel des satellites lancés jusque-là. Ce fut le premier à fonctionner pendant 10 ans, créant un précédent pour Alouette II et les ISIS, dont chacun envoya des ionogrammes lors de son dixième anniversaire en orbite, et dont l'un fonctionne toujours aussi bien depuis 14 ans. La longévité extraordinaire de ces satellites tient à plusieurs facteurs, dont l'effort tout spécial accompli pour améliorer la fiabilité des accumulateurs commerciaux au cadmium-nickel. Grâce à ce travail, qui fut essentiellement l'œuvre des Laboratoires de recherches chimiques, biologiques et radiologiques pour la Défense, devenus depuis le Centre de recherches pour la défense d'Ottawa, les accumulateurs de ces satellites canadiens ont été supérieurs à ceux de tous les autres programmes spatiaux de l'époque.

Autre facteur — et probablement le plus important — ayant contribué à cette longévité, les modes de conception des circuits électroniques embarqués particulièrement délicats. Quoique ne devant jamais fonctionner jusqu'à leurs limites thermiques, ce qui aurait réduit leur durée de vie, ils étaient tous conçus pour marcher normalement dans une gamme de températures bien plus étendue que celle qu'ils devaient normalement rencontrer dans l'espace.

Parmi les réussites de premier plan, il faut compter l'heureuse conception des longues antennes rigides des satellites. Mesurant jusqu'à 73 m d'une extrémité à l'autre, leur déploiement s'effectuait une fois le satellite en orbite. Leur mise au point fut l'œuvre d'une division de la de Havilland Aircraft of Canada Limited de Toronto, devenue par la suite la Spar Aérospatiale Limitée qui, en collaboration avec le CRTD, procéda pour ce faire aux applications d'une invention antérieure du CNR. Établie à l'origine pour Alouette I, cette technique continue à servir pour toutes les missions du programme et le déploiement dans l'espace de cette longue structure a été chaque fois parfait. La technologie sous-jacente du système a depuis lors été adaptée avec succès à un nombre croissant d'applications aérospatiales exigeant un déploiement sans anicroche de très longues structures d'antennes. Connues généralement sous le nom de STEM, ces appendices extensibles (voir figure 20, page 58) ont servi dans l'espace comme bras pour déployer les panneaux solaires et pour les systèmes de raccordement des astronautes ainsi que pour les antennes de fusées et de satellites. Ces applications ont valu à la Spar des exportations plus qu'appréciables puisque, depuis 1960, plus de 350 de ces dispositifs ont fait partie, avec succès, de missions spatiales canadiennes, américaines et européennes. Les STEM sont également utilisés pour les mâts et les antennes maritimes et terrestres.

Parmi les autres succès techniques du programme, signalons la première utilisation remarquablement réussie de l'échosondage par satellite, la combinaison sur le même engin de la détection et des expériences sur les particules avec les recherches par sondeur, l'utilisation spatiale de photomètres sensibles et les progrès accomplis dans la compréhension de la dynamique des structures longues des engins en milieu spatial. Mentionnons cependant par-dessus tout les performances incomparables — et toujours uniques — des ionosondes à balayage en fréquences des différents satellites, et le fait que tous les satellites ont fonctionné comme prévu, accomplissant pendant au moins un an avec succès plus de 90 p. 100 des expériences, bon nombre d'entre elles s'étant prolongées encore davantage.

### Conclusion

Entamé il y a plus de vingt ans, le programme Alouette-ISIS continue à poursuivre activement son objectif premier, l'exploration de l'ionosphère. Parti modestement sous forme d'un effort canado-étatsunien portant sur un satellite, il a fait bouler de neige, incorporant trois autres engins spatiaux ainsi que d'autres chercheurs et d'autres nations. À l'échelle nationale, la renommée due aux réussites techniques du programme Alouette a déclenché le lancement d'un programme spatial canadien plus ambitieux. Bien qu'à l'époque aucun ministère n'ait été chargé de l'espace (il en est toujours ainsi), le MDN ne voulait pas voir disparaître les capacités dont s'était doté le pays. Sans trop de difficultés, il obtint l'approbation d'un programme élargi de suivi destiné non plus aux besoins de la défense, mais à ceux des chercheurs et des industriels canadiens. Le sentiment de confiance et d'optimisme qui régnait dans de nombreux milieux aboutit enfin à des réussites aussi diverses qu'Hermès, Anik et le télémanipulateur spatial.

L'une des nombreuses et importantes belles réalisations du programme Alouette-ISIS a été de mettre notre pays sur la voie des applications spatiales, alors qu'autrement cela ne se serait jamais produit, ou tout au moins pas aussi vite.

La reconnaissance des succès du programme a revêtu bien des formes. C'est ainsi que dès 1964, l'Institut professionnel de la fonction publique attribua une médaille d'or aux chercheurs du CRD auteurs du programme Alouette. En 1969, l'Institute of Electrical and Electronic Engineers publiait un numéro spécial consacré au sondage en contre-haut et à l'ionosphère. En 1972, la NASA honorait l'équipe Alouette en lui attribuant le Group Achievement Award. Nombre des chercheurs et techniciens concernés ont obtenu divers prix. Parmi eux, le coordonnateur du programme Alouette, J.H. Chapman, à qui son dévouement dans ce cadre et pour toutes sortes d'activités spatiales a valu de nombreuses preuves de reconnaissance dont, en 1966, la médaille d'or Dellinger de l'Union radio-scientifique internationale.

Le programme Alouette-ISIS a fait entrer le Canada dans l'ère spatiale. Il a signifié pour les Canadiens estime et louanges et a contribué à lancer l'industrie canadienne dans l'aventure spatiale. La décision ultérieure du gouvernement de mettre en veilleuse les programmes scientifiques en faveur des applications lui a sérieusement coupé les ailes sans cependant l'éliminer tout à fait. Bien que ralenties, l'exploitation et les analyses de données se poursuivent, afin d'essayer de répondre à l'intérêt et aux besoins toujours aussi vifs des chercheurs en leur fournissant sur l'ionosphère et la magnétosphère tous les renseignements que procurent les ressources uniques des ISIS.



4

## Le programme Hermès



**Figure 40**  
Hermès en orbite vu par un artiste.

## Introduction

Destiné à passer presque toute sa vie utile sur une orbite géostationnaire à 35 800 km au-dessus de l'équateur dans l'hémisphère occidental, le satellite technologique de télécommunications (STT) pouvait embrasser près de 40 p. 100 du globe.

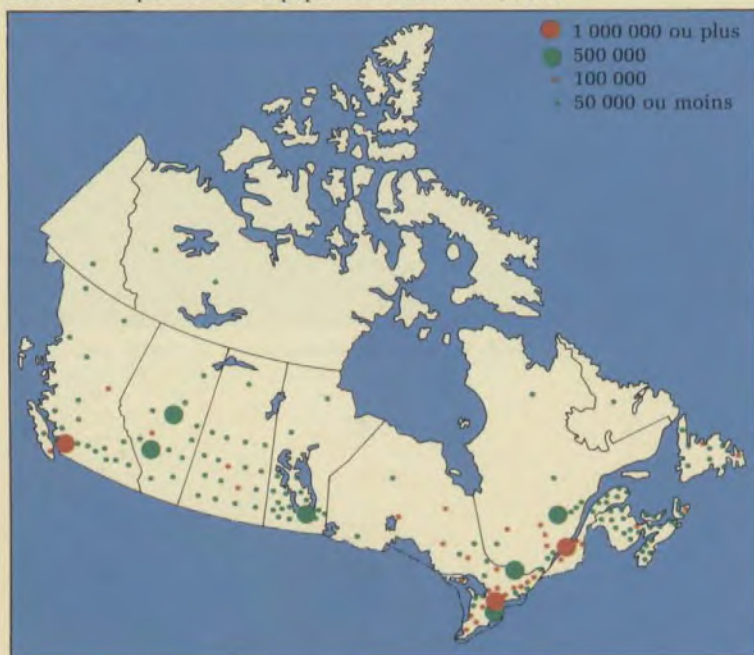
Comme la plupart des satellites expérimentaux, le STT n'avait au départ qu'un nom fonctionnel. Il était déjà en service dans l'espace lorsqu'il fut baptisé Hermès le 21 mai 1976 par Mme Jeanne Sauvé, alors ministre des Communications, au cours d'une cérémonie d'inauguration.

On ne pouvait mieux choisir puisque, fils de Zeus, Hermès était un dieu aux multiples pouvoirs et aux innombrables qualités. Messager des divinités de l'Olympe, il était aussi dieu de la science et de l'invention, de l'éloquence et des rêves. D'ailleurs, l'idée même d'un STT-Hermès polyvalent était le fruit d'un rêve : que tous les Canadiens, où qu'ils vivent, jouissent des retombées de la révolution actuelle des télécommunications et de l'informatique.

La réalisation de ce rêve allait cependant soulever des défis redoutables. Le Canada occupe un immense territoire caractérisé par la rigueur de son climat et son relief accidenté. Environ 80 p. 100 de sa population vit en région urbaine dans une étroite bande de 350 km bordant la frontière américaine, mais près de cinq millions de Canadiens — une minorité importante — sont dispersés dans les grands espaces peu habités (voir figure 41). Dès 1970, les citoyens bénéficiaient d'excellents services de télécommunications assurés par trois systèmes terrestres à hyperfréquences et des stations de diffusion locales. En outre, de plus en plus de foyers étaient raccordés à des réseaux de télédistribution qui transmettaient des émissions de télévision supplémentaires provenant du Canada ou des États-Unis. Le reste de la population n'était pas aussi choyé. Cinq millions de gens n'avaient que peu ou pas de choix en matière d'émissions de radio ou de télévision.

Les satellites géostationnaires sont donc apparus comme le seul moyen d'offrir à ces défavorisés des services modernes au cours des 10 années suivantes. Ils présentent en effet l'avantage remarquable de rapprocher les gens; qu'il s'agisse de voisins, de personnes communiquant de la côte du Pacifique à celle de l'Atlantique, ou du sud de l'Ontario à Resolute Bay, dans le Grand Nord, une seule distance importe : les 35 800 km entre le sol et le satellite.

**Figure 41**  
Carte de la répartition de la population canadienne, 1976.



La première étape de ce grand rêve de télécommunications universelles a été la création, en septembre 1969, de la société Télésat Canada, qui, dès le début de 1973, inaugurait des services satellisés intérieurs, faisant du Canada le premier pays à dispenser des services commerciaux. Les trois Anik A reposaient sur une technologie solide mise au point aux États-Unis. Leurs transpondeurs à faible puissance fonctionnent dans une bande de 4 à 6 GHz du spectre des fréquences radioélectriques, qu'on appelle communément la bande des 4-6 GHz<sup>1</sup>.

1. Un système commercial de télécommunications par satellite comprend des liaisons ascendantes, des stations au sol au satellite, et des liaisons descendantes en sens inverse. Elles fonctionnent généralement dans des parties bien délimitées du spectre des fréquences radioélectriques. Les satellites Anik A ont des liaisons ascendantes en 6 GHz et des liaisons descendantes en 4 GHz.

**Figure 42**

Station terrienne importante de Télésat au lac Cowichan, à environ 39 km de Duncan (C.-B.). Dotée d'une antenne de 30 m de diamètre, elle est devenue opérationnelle en 1973.



L'étape suivante a été l'approbation, en 1971, du Programme mixte canado-américain du satellite technologique de télécommunications dont l'objectif était d'explorer la bande des hautes fréquences, celle des 12-14 GHz.

On commençait déjà à se rendre compte il y a 10 ans, que les orbites équatoriales sur lesquelles les satellites de télécommunications géostationnaires en 4-6 GHz étaient placés seraient bientôt saturées et que pour répondre à l'accroissement de la demande il faudrait recourir à de nouvelles bandes de fréquences. L'utilisation pour les télécommunications, tant spatiales que terrestres, de la bande des 4-6 GHz nuit par ailleurs au fonctionnement des systèmes spatiaux. Pour éviter le parasitage avec d'autres services, dont l'interurbain téléphonique, la puissance de 4 GHz émanant des satellites doit être très strictement limitée, ce qui signifie qu'il faut construire des stations terriennes relativement importantes et coûteuses. La liaison ascendante en 6 GHz provenant de celles-ci est aussi une source potentielle de parasitage. Il faut donc choisir soigneusement l'emplacement des stations, habituellement assez loin des régions urbaines.

En revanche, la bande des 12-14 GHz sert exclusivement aux télécommunications spatiales. En 1971, il s'agissait encore d'une bande inexplorée; les positions orbitales, à ces fréquences, étaient encore inoccupées et la puissance des liaisons descendantes n'était assujettie à aucune restriction. Cela permettait donc de doter les satellites de transpondeurs puissants émettant des signaux captables par de petites stations terriennes bon marché, situées n'importe où, à la seule condition qu'il y ait visibilité directe entre l'antenne au sol et le satellite.

Malgré ces avantages, le projet STT-Hermès s'est heurté à une opposition très vive, tant de la part des pouvoirs publics qu'en dehors du gouvernement. La grande critique avancée contre un système spatial fonctionnant dans la bande des 12-14 GHz était son prix exorbitant. Hermès devant être le premier satellite de télécommunications à utiliser cette bande, il faudrait élaborer des systèmes et des composants spatiaux nouveaux pour ces hautes fréquences et augmenter en outre considérablement sa puissance — et son poids — pour compenser l'affaiblissement accru des transmissions prévu dans cette bande en période de pluie. Selon les détracteurs de l'entreprise, la majoration de prix due aux innovations technologiques requises et à l'augmentation du poids du satellite serait vraiment excessive.

Techniquement parlant, la mise au point d'un moyen de télécommunications spatiales en 12-14 GHz posait de réelles difficultés; le gouvernement décida toutefois que non seulement ces défis devraient être relevés, mais qu'il fallait le faire à cause des avantages énormes que comportait l'utilisation de cette bande. Les expériences de télécommunications prévues devaient établir la possibilité d'assurer, à l'aide d'antennes paraboliques d'à peine 0,6 m de diamètre, un grand nombre de services satellisés unilatéraux et bilatéraux, dont la télédiffusion directe à domicile (voir figure 43). Mais comme il était clair que le secteur privé n'était pas disposé à courir un risque aussi élevé sur les plans financier et technique, il fallait que le gouvernement prenne l'initiative. Heureusement, bénéficiant de l'expérience acquise avec le programme Alouette-ISIS, le Centre de recherches sur les communications du ministère était prêt pour cette mission.

**Figure 43**

Prototype de terminal terrien d'Hermès avec antenne de 0,6 m de diamètre conçu par le CRC pour la réception directe à domicile de signaux télévisuels couleur.



### *Les objectifs du programme Hermès*

Programme canado-américain, Hermès a été, de 1970 à 1980, l'œuvre du ministère fédéral des Communications (MDC) et de l'Administration nationale américaine de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis (NASA). Le but commun était de repousser les frontières de la technologie en mettant au point un système de satellite puissant, fonctionnant à des fréquences supérieures à celles des engins existants. Cela permettrait la télécommunication directe avec des stations au sol peu coûteuses, dans des collectivités et des foyers individuels, tout en facilitant des expériences dans ce domaine. Les recherches visaient à évaluer la portée socio-économique et politique de l'éventuelle introduction de services nouveaux tels le télé-enseignement et la télé-médecine bilatéraux, la radiotélédiffusion directe par satellite ainsi que des services communautaires spéciaux. Le Canada s'est chargé de la conception, de la construction et de l'exploitation de l'engin, les États-Unis ayant, pour leur part, fourni le tube de transmission de haute puissance du transpondeur, effectué des essais et assuré le lancement de l'engin et de la fusée porteuse. Les deux pays se sont partagé également l'utilisation du satellite.

Deux ans après le lancement du programme, l'Organisation européenne de recherches spatiales (OERS) s'est elle aussi associée à l'entreprise, avec pour objectif principal d'essayer en vol diverses composantes de la charge utile des futurs satellites de télécommunications européens. Elle acceptait en contrepartie de fournir ces composantes et de mettre au point gratuitement pour le Canada des panneaux solaires destinés à Hermès.

Enfin, le Canada voulait se perfectionner dans la conception et la fabrication d'engins spatiaux et de sous-ensembles destinés à l'exportation et à l'usage intérieur.

### *Bref historique du STT-Hermès*

Nous sommes en 1970. Une équipe du MDC dirigée par J.H. Chapman se lance dans des études théoriques sur une technologie avancée pour les télécommunications par satellite et entame des discussions avec la NASA sur la possibilité d'entreprendre un programme conjoint. Ce satellite doit remplacer en fait le dernier prévu dans la série des Alouette-ISIS, soit ISIS C; mais il faudra un an de vives discussions, tant au Canada qu'aux États-Unis, pour transformer le programme sur la science de l'espace en un programme d'applications de la technologie spatiale et pour se mettre d'accord sur les objectifs et les calendriers de mise en œuvre.



Une des premières grandes difficultés à laquelle on se heurte est que la charge utile souhaitée est beaucoup trop lourde pour la fusée que les États-Unis assignent au projet. D'où des divergences de vues fondamentales : le Canada estime qu'il suffit d'employer une fusée plus grosse, les États-Unis (et c'est eux qui l'emporteront) trouvent injustifiés les quelque 12 millions de dollars supplémentaires que cela représente; ils estiment plus économique de prévoir des sous-systèmes plus légers. Ce souci de réduction du poids restera donc un critère constant pendant toute la conception. Il entraînera à la fin du compte des dépenses supplémentaires dépassant 12 millions de dollars pour le programme conjoint et retardera le lancement d'une année entière.

C'est le 20 avril 1971 que la NASA et le MDC se mettent officiellement d'accord sur un programme de satellite technologique de télécommunications (STT). Le Canada s'engage à concevoir et à construire l'engin spatial ainsi qu'à l'exploiter une fois qu'il aura été mis sur orbite géostationnaire. Les États-Unis, quant à eux, fourniront la fusée porteuse et les installations spatiales spécialisées et mettront au point un tube de transmission à haute puissance ultra-efficace pour le satellite. Les deux partenaires conviennent de se partager également l'utilisation du STT pour des expériences technologiques et de télécommunications. Puis, le 18 mai 1972, l'OERS et le MDC signent un protocole d'accord sur le programme STT. L'Organisation européenne doit concevoir et fournir certaines composantes, notamment des tubes de transmission de 20 watts, un amplificateur sensible à hyperfréquences ainsi que des photopiles montées sur une structure légère et souple. L'essai en vol se fera sur Hermès au profit des deux partenaires.

Au Canada, le CRC se charge des études techniques des systèmes ainsi que de la direction du programme Hermès depuis son tout début, de la conception jusqu'à la fabrication et l'utilisation de l'engin pour des expériences technologiques et de télécommunications. Le premier directeur du programme est David Florida, le gestionnaire du projet étant C.A. Franklin. L'industrie canadienne s'occupe de la conception et de la fabrication des sous-systèmes de l'engin, la Spar Aérospatiale Limitée, de Toronto, fournissant la structure et les sous-systèmes mécaniques. La RCA Ltée de Montréal (qui deviendra par la suite une division de la Spar) construit les systèmes électriques et électroniques, des antennes et 18 petites stations terriennes. La SED Systems Limited de Saskatoon construit trois grandes stations terriennes pouvant effectuer la transmission et la réception des signaux en bande large et met également au point le logiciel destiné à la

phase critique du lancement. Participent également au programme : la Bristol Aerospace Limited de Winnipeg, la Canadian Astronautics Limited d'Ottawa, la COM DEV Limited de Dorval, la Digital Devices Limited de Montréal, la Digital Methods Limited d'Ottawa, la Fleet Industries Limited de Fort Erie, la HiTech Canada Limited d'Ottawa et la Miller Communications Systems Limited de Kanata (Ontario).

Juillet 1972 : le MDC invite tous les groupes, associations, gouvernements provinciaux et autres intéressés à participer à un programme d'expériences de deux ans à l'aide du STT, sous la direction de B.C. Blevis.

Enfin, le 17 janvier 1976, l'engin est lancé depuis Cap Kennedy, en Floride, par une fusée Delta 2914 et mis sur orbite géostationnaire au-dessus de l'équateur, au sud de Calgary, à 116 degrés de longitude ouest. Deux semaines plus tard, les deux longs panneaux solaires sont déployés et commencent à fournir l'énergie nécessaire à l'alimentation du satellite de télécommunications le plus puissant du monde. Les semaines suivantes, l'engin est mis en service, étape qui comprend une vérification détaillée des sous-systèmes visant à confirmer que les paramètres mesurables sont normaux, ainsi qu'un essai des manœuvres de maintien en position, de régulation thermique, de chargement des accumulateurs, de contrôle de l'orientation et l'orientation des faisceaux d'antennes. Le 21 mai 1976, le MDC et la NASA inaugurent officiellement le début des expériences lors d'une cérémonie où le satellite est baptisé Hermès. À cette occasion, l'on tient une téléconférence bilatérale d'une heure sur téléviseur couleur reliant le CRC, à Ottawa, et les installations de la NASA situées à Cleveland, dans l'Ohio.

Il est courant de fixer aux programmes spatiaux expérimentaux des critères permettant de juger de la réussite ou de l'échec et Hermès n'a pas dérogé à cette règle. Considérant que tous les systèmes de l'engin donnent pleine satisfaction et que les expériences de télécommunications vont bon train, le Canada déclare, le 21 octobre 1976, que Hermès répond à tous les critères fixés avant le lancement et que la mission est réussie.

Le 17 janvier 1978, deuxième anniversaire du lancement, Hermès atteint son objectif de vie utile et continue à bien fonctionner. Le gouvernement décide donc d'approuver « en prime » une troisième année d'expériences technologiques et de télécommunications. Un an plus tard, tout va toujours très bien pour Hermès et le programme est prorogé jusqu'en août 1979.

Les expériences Hermès suscitent l'intérêt de plusieurs pays qui envisagent de se doter de systèmes de satellites de télécommunications intérieures. En mai 1978, le Canada organise une démonstration de radiotélédiffusion directe lors d'une réunion internationale tenue au Pérou. L'année suivante, le gouvernement de l'Australie invite le Canada à participer à un atelier mixte sur les télécommunications par satellite prévu dans ce pays à la fin d'août, et lui fait savoir qu'il aimerait beaucoup avoir une démonstration du système Hermès. Le Canada accepte et Hermès est déplacé de sa position de 116 degrés de longitude ouest au-dessus du Pacifique à 142 degrés ouest, d'où il est visible de l'est de l'Australie et du Centre de commande au sol situé à Ottawa. Après cette prestation complète et probante, le Canada reçoit une autre invitation, cette fois en Papouasie - Nouvelle-Guinée, où on lui demande un essai de réception de télévision directe à domicile, qui a lieu à Port Moresby, les 4 et 5 septembre 1979.

À la mi-septembre 1979, les Australiens réclament un nouveau prolongement de la mission Hermès afin de mesurer l'affaiblissement des signaux transmis par satellite dans les zones de pluie tropicale du Queensland. La chose est entendue, mais Hermès se tait pour toujours le 24 novembre 1979, avant qu'on ait pu effectuer toutes les mesures prévues.

**Figure 44**

Réception directe à domicile de la télévision couleur via Hermès à Port Moresby, Papouasie - Nouvelle-Guinée.



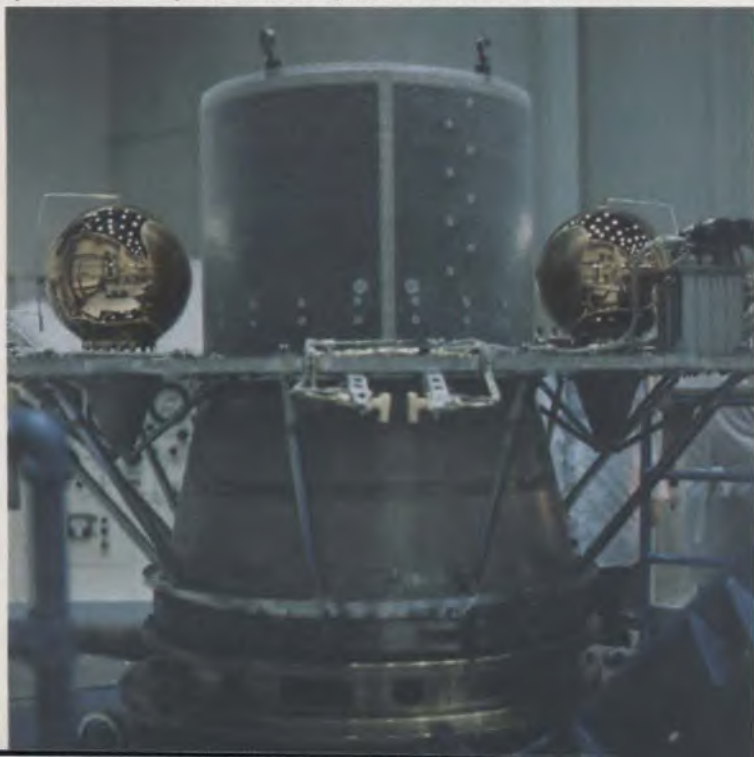
## Conception, construction et lancement d'Hermès

### *Conception du système*

Hermès avait une vocation purement expérimentale, en aucun cas commerciale, et cela s'est largement répercuté sur sa conception. Les satellites de télécommunications commerciaux ont une durée de vie utile de six à dix ans parce qu'ils font appel à la technologie traditionnelle, qu'ils utilisent des facteurs sécuritaires de construction ordinaires et qu'ils doublent les systèmes électroniques. Ils disposent de réserves substantielles d'électricité grâce aux accumulateurs, et d'hydrazine pour les propulseurs de stabilisation. Mais tout ceci augmente beaucoup le poids de l'engin de base. Or, dans le cas d'Hermès, la puissance de la fusée porteuse suffisait à peine à lancer l'engin dans l'espace, les responsables n'avaient qu'une marge de poids très faible s'ils voulaient doubler certains appareillages électroniques critiques. Il fallait pourtant que l'engin fonctionne sur commande en toute certitude et sans nécessiter de réparation pendant au moins deux ans. On peut dire, sans risque de se tromper, que les contraintes

#### **Figure 45**

Les propulseurs d'Hermès utilisés pour le lancement et la mise sur orbite étaient alimentés à l'hydrazine. C'est un mélange très corrosif et très toxique qu'il a fallu entreposer dans des sphères de titane plaquées d'or.

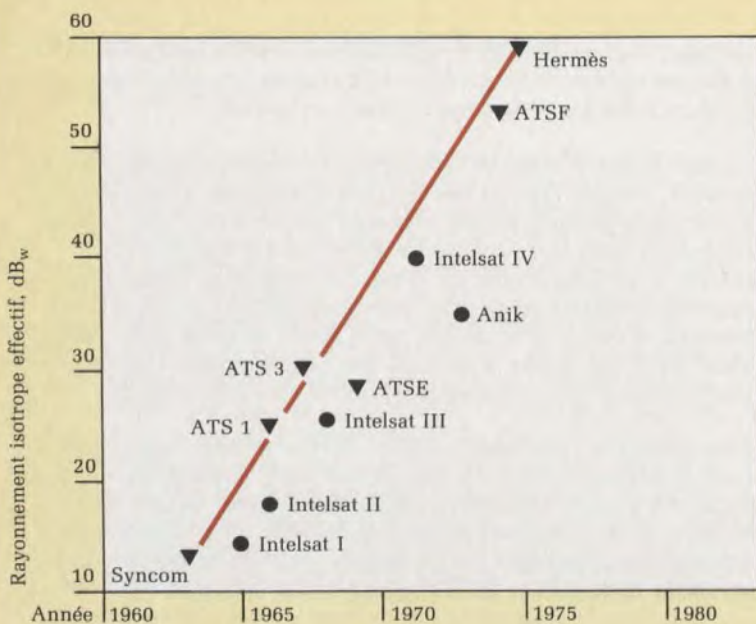


de fiabilité auxquelles les constructeurs étaient astreints revenaient à essayer de construire un téléviseur couleur qui fonctionnerait pendant mille ans sans jamais tomber en panne.

Hermès posait en effet des problèmes de conception très particuliers, puisqu'il devait être doté de transpondeurs de télécommunications beaucoup plus puissants que tous ceux qui avaient été conçus jusque-là (voir figure 46) et qu'il devait pouvoir couvrir toute l'Amérique du Nord, de façon sûre, dans une nouvelle bande de fréquence, tout en respectant les conditions très strictes de poids imposées par la fusée porteuse Delta. Autrement dit, il fallait non seulement que l'engin produise beaucoup plus d'énergie, mais encore qu'il l'utilise plus efficacement.

Pour répondre à ces exigences, les chercheurs conçurent trois sous-systèmes capitaux à la fine pointe de la technologie : 1) des panneaux solaires déployables assez grands pour fournir l'électricité voulue, mais aussi légers que possible; 2) un système de stabilisation dynamique permettant de produire le maximum de puissance et de garder les antennes parfaitement orientées vers la Terre, malgré l'envergure (13 m de bout en bout) et la souplesse des panneaux solaires; et 3) un sous-système ultra-puissant de transpondeurs assurant la télécommunication en 12-14 GHz et devant utiliser efficacement l'énergie. Les tubes grande puissance furent mis au point aux États-Unis, pendant que le Canada travaillait à la conception du STT, ce qui explique que leurs caractéristiques techniques étaient forcément provisoires. En 1974, il apparut que la chaleur dégagée par ces tubes serait beaucoup plus forte que prévu et que le surplus ne pourrait être dissipé (encore une fois à cause des contraintes de poids) par des moyens traditionnels comme la conduction par des bandes de cuivre à l'extérieur de l'engin. La NASA conçut donc un sous-système thermique tout à fait nouveau en utilisant des conduits thermiques, et le CRC modifia les calculs de la structure et de la charge utile pour tenir compte de ce sous-système.

Au début des années 1970, les satellites géostationnaires de télécommunications étaient alimentés par des piles solaires montées sur la structure de l'engin spatial dont l'orientation était stabilisée par rotation comme une toupie tournant autour d'un axe central. Ce système ne donne pas d'excellents résultats pour les satellites de forte puissance, car les piles montées sur un corps en rotation de ce type n'absorbent en moyenne qu'un tiers de l'énergie dispensée par un nombre équivalent de piles maintenues face au Soleil. La très grande nouveauté d'Hermès, du point de vue de la conception, était qu'il n'était plus nécessaire d'obtenir une stabilité dynamique par rotation. En revanche, la charge utile comportait un sous-système de commande de l'orientation



- Opérationnel
- ▼ Expérimental

**Figure 46**  
 Accroissement de la puissance de rayonnement de chaque voie haute fréquence du satellite.

qui maintenait l'engin dans une position et une orientation fixes par rapport à la Terre. L'alimentation en énergie pouvait alors se faire moyennant des piles solaires montées sur de larges panneaux qui se déployaient latéralement une fois Hermès stabilisé sur son orbite (voir figure 47). Ces « voiles » devaient rester perpendiculaires au Soleil pour permettre aux piles d'absorber le maximum d'énergie solaire.

Le programme Hermès fut l'occasion de mettre au point une technologie importante qui a abouti à la fabrication de nouvelles composantes dans les laboratoires de l'État, puis a été transférée au secteur privé qui l'a exploitée. Il a fallu en particulier concevoir sur place des amplificateurs à transistor à effet de champ (TEC) pour le transpondeur en 12-14 GHz parce que ni le rendement, ni le coût, ni le calendrier ne pouvaient être garantis quand ces travaux furent initialement remis à l'industrie. Pendant deux ans, de 1972 à 1974, une équipe de 25 spécialistes travailla donc à ce projet au CRC. Elle conçut et fabriqua ces amplificateurs fiables en ayant recours aux techniques nouvelles de circuits intégrés à hyperfréquences et à des dispositifs expérimentaux. Il s'agissait en l'occurrence des premiers amplificateurs à TEC destinés à une application spatiale et dont on se sert maintenant couramment dans les satellites, tant en 12-14 qu'en 4-6 GHz ainsi que dans les terminaux au sol.

Figure 47



L'une des grandes préoccupations des concepteurs d'Hermès étant la légèreté, il fallait que le système de conversion de l'énergie captée soit le plus efficace possible, surtout dans les transpondeurs à haute puissance. Or, le sous-système d'alimentation électrique constituant l'un des principaux éléments de la charge utile, son poids allait grandement influencer l'efficacité de la consommation d'énergie. Les tubes de transmission d'Anik A, par exemple, produisent 6 watts dans la bande des 4 GHz à 30 p. 100 d'efficacité, c'est-à-dire que chaque tube a besoin de 20 watts pour en produire 6. Le tube de 200 watts d'Hermès devait fonctionner dans la bande des 12 GHz à environ 45 p. 100 d'efficacité, c'est-à-dire sans consommer plus de 450 watts. Le Centre de recherches Lewis (LeRC) de la NASA, à Cleveland, se charge de

#### Figure 48

Principales caractéristiques techniques d'Hermès.

**Poids au lancement** 676 kg

**Fusée de lancement** Thor Delta 2914

**Poids sur orbite** 346 kg

#### Dimensions

Hauteur : 1,8 m

Profondeur : 1,7 m

Longueur avec les panneaux solaires déployés : 16,1 m

**Position sur orbite synchrone** 116 degrés de longitude ouest

**Espérance de vie utile** 2 ans

(Vie utile réelle) 3,8 ans

#### Sous-systèmes de télécommunications

Réception : 14 à 14,3 GHz

Émission : 11,8 à 12,1 GHz

(Divisées en deux canaux de 85 MHz)

Puissance de sortie maximale : 200 watts (antenne 1)

20 watts (antennes 1 et 2)

Rayon d'action des antennes : deux antennes, largeur de faisceau 2,5° orientables dans un cône de 15°

#### Contrôle de l'orientation

Roulis et tangage, précision de 0,1°

Lacet, précision de 1,1°

#### Mécanismes de détection de l'orientation

Capteurs terrestres, capteurs solaires, gyromètre

#### Alimentation en énergie solaire

Deux panneaux solaires déployables de 7 m sur 1,3 m avec une puissance énergétique initiale de 1 365 watts; énergie solaire du corps de l'engin spatial de 100 watts.

#### Batteries

Deux accumulateurs au cadmium-nickel de 5 ampères-heures chacun.



mettre au point un nouveau genre de tube ainsi que la source d'alimentation nécessaire pour répondre à ces exigences très strictes. Il effectua les travaux pendant que le CRC s'occupait, parallèlement, de la conception, de l'étude technique et de l'essai d'autres sous-systèmes d'Hermès.

La figure 48 donne les principales caractéristiques techniques de l'engin. Hermès pesait 676 kg sur sa plate-forme de lancement, mais la consommation de carburant par le moteur d'apogée et les petits propulseurs de mise sur orbite allaient réduire cette masse de presque la moitié.

Outre l'engin même, le système Hermès comprenait une station de commande au sol qui recevait du satellite des données de télémétrie et commandait son fonctionnement. À cela s'ajoutait un réseau de stations terriennes émettrices ou réceptrices en liaison avec le satellite. Certaines remplissaient cette double fonction.

La conception des stations terriennes a été dominée par des facteurs économiques. Il n'aurait en effet pas été rentable d'assurer des services de télécommunications par satellite, comme la télédiffusion directe à des foyers et à des collectivités, s'il avait fallu payer un prix exorbitant pour les stations au sol. C'est pourquoi, dans le cadre de ce programme expérimental, on a prévu des stations de petite taille, légères, facilement transportables et relativement peu coûteuses. Des entreprises canadiennes ont conçu et fabriqué quatre systèmes types, depuis le terminal d'émission-réception doté d'une antenne parabolique de 9 m de diamètre jusqu'au terminal téléphonique ayant une antenne de 1 m de diamètre. De son côté, le CRC s'est attaché à mettre au point des prototypes de terminaux récepteurs télévisuels (TRT), équipés d'antennes dont le diamètre pouvait mesurer 0,6, 0,9 ou 1,2 m, et destinés à une expérience capitale de radiodiffusion directe à domicile effectuée vers la fin du programme (voir figure 49).

Quant à la Station de commande au sol, située au CRC, sa conception respectait des principes assez simples et traditionnels. Elle était toutefois soumise à une contrainte exceptionnelle au moment du lancement puisqu'au départ, l'engin devait atteindre son équilibre dynamique par rotation. Elle devait ensuite stabiliser l'engin sur trois axes et ne pouvait pratiquement pas se permettre d'erreur en effectuant cette manoeuvre complexe et difficile. L'opération avait été répétée et raffinée au CRC sur un simulateur, mais celui-ci était évidemment incomplet, de sorte que cette manoeuvre constituait un des grands risques de la mission. C'est au Canada que la technologie et les procédés nécessaires ont été conçus, et tout a fonctionné sans défaillance lors du lancement.



**Figure 49**

a) Terminal récepteur télévisuel sur un toit, au CRC d'Ottawa; diamètre des antennes, 0,6 et 1,2 m.

b) Terminal de contrôle des télécommunications au CRC, diamètre de l'antenne, 9 m; et terminal de téléphonie au CRC d'Ottawa, 1 m.





c) Terminal télé interactif (récepteur télévisuel, émetteur téléphonie);  
diamètre de l'antenne, 2 m.

d) Terminal de téléphonie à Kashechewan (Ontario); diamètre de l'antenne,  
1 m.



### *Mise sur orbite d'Hermès*

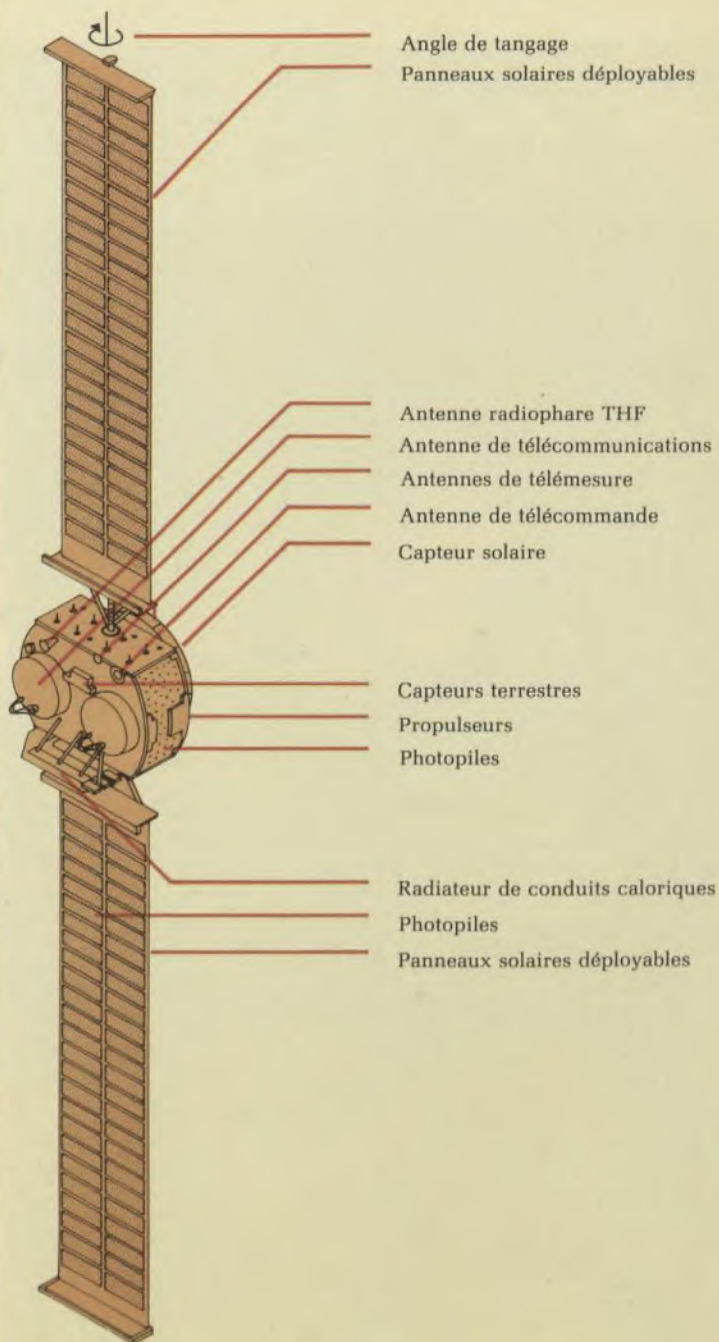
La mise sur orbite se fit en trois temps : l'étape de *l'orbite d'attente* (trois jours) au terme de laquelle le moteur d'apogée fut mis à feu pour placer le satellite sur son orbite définitive; l'étape de *dérive* (neuf jours) pendant laquelle le satellite dériva en orbite jusqu'à atteindre l'emplacement géographique fixé; et l'étape de *l'orientation* (deux jours) au cours de laquelle, la rotation arrêtée, l'engin fut stabilisé puis les panneaux solaires déployés et orientés vers le Soleil.

L'engin avait trois sources principales d'énergie électrique. Pendant l'étape du lancement, qui dura 14 jours, et jusqu'à ce que ses principales sources d'énergie, les panneaux solaires déployables, entrent en fonction, il était alimenté par deux accumulateurs ainsi que par des piles solaires montées sur des plaques fixées sur le corps du satellite.

Atteignant 100 watts, la production de ces plaques permettait d'économiser la puissance des accumulateurs pendant le lancement et de garantir jusqu'à un certain point qu'il n'y aurait pas de perte de puissance excessive en cas de retard au cours des manoeuvres de lancement. Deux des plaques en question furent larguées le deuxième jour de l'établissement de l'orientation (voir figure 52) pour permettre le déploiement des panneaux solaires pliés en accordéon.

La figure 50 montre Hermès avec ses panneaux solaires déployés; leur voilure très mince et très légère était assortie d'environ 27 000 piles solaires destinées à transformer l'énergie solaire en courant électrique pour alimenter le satellite. Des signaux de commande provenant des photopiles actionnaient les moteurs qui servaient à les garder à peu près perpendiculaires au Soleil.

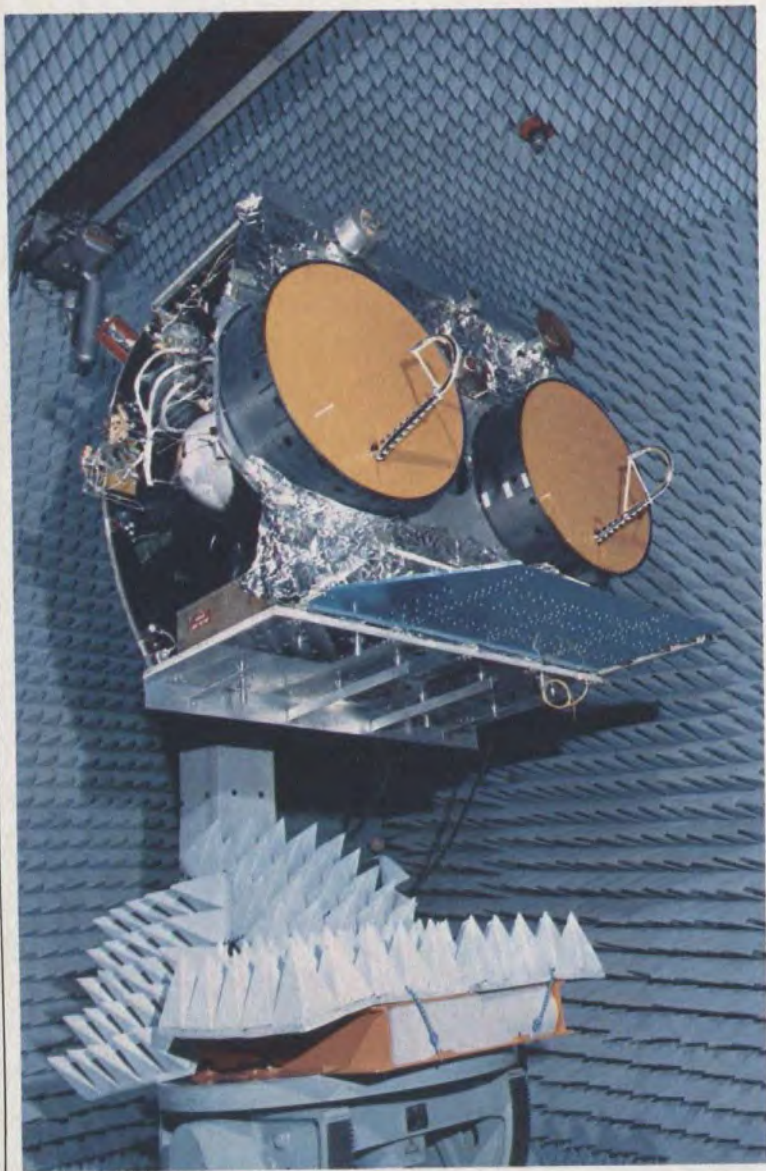
En cas d'éclipse, les accumulateurs prenaient la relève pour permettre le fonctionnement ininterrompu des composantes essentielles comme les mécanismes de télémétrie et de commande, les dispositifs de régulation thermique et le volant d'inertie.

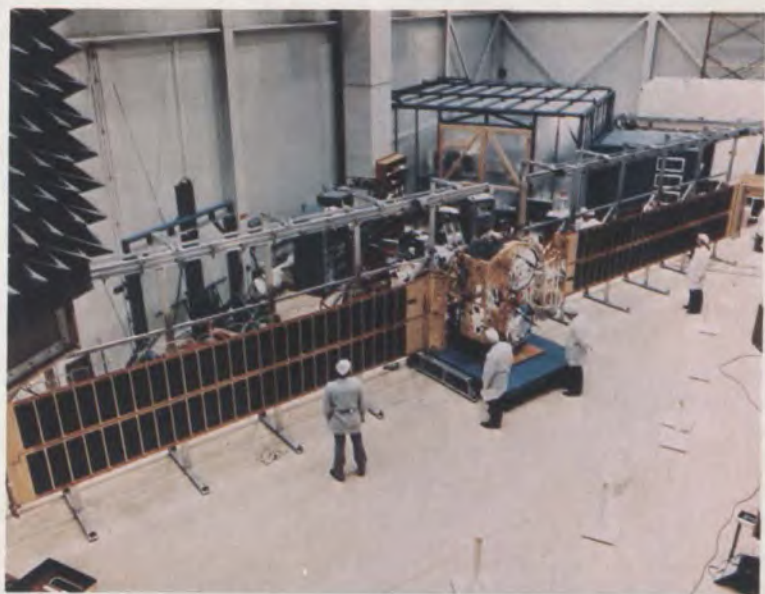


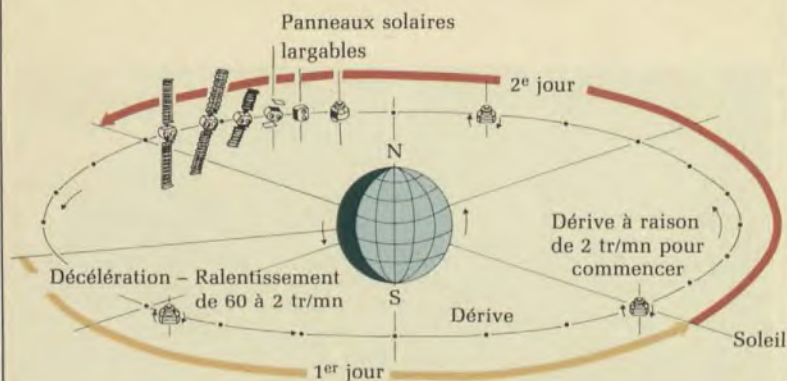
**Figure 50**  
 Représentation d'Hermès sur son orbite. Remarquez les « voiles » solaires déployées.

**Figure 51**

Hermès — simulateur et engin destiné au vol subissant des tests au Laboratoire David Florida du MDC au CRC.







**Figure 52**  
Faits saillants de l'étape de l'orientation.

Du fait de la fixité et de l'orientation de l'engin, il était particulièrement difficile de s'assurer que toutes ses parties resteraient dans des marges de température précises. La stabilisation par rotation employée pour les satellites Alouette et ISIS se traduisait en principe par une répartition uniforme de la température, tandis que dans le cas d'Hermès, qui était stabilisé sur trois axes, un côté cuisait au Soleil tandis que l'autre gelait puisqu'il était exposé au zéro absolu ou presque de l'espace. En outre, la chaleur produite par le satellite même ou extérieurement rayonnée devait connaître d'énormes écarts pendant la mission, en grande partie à cause des conditions de fonctionnement très diverses auxquelles le transpondeur fut soumis.

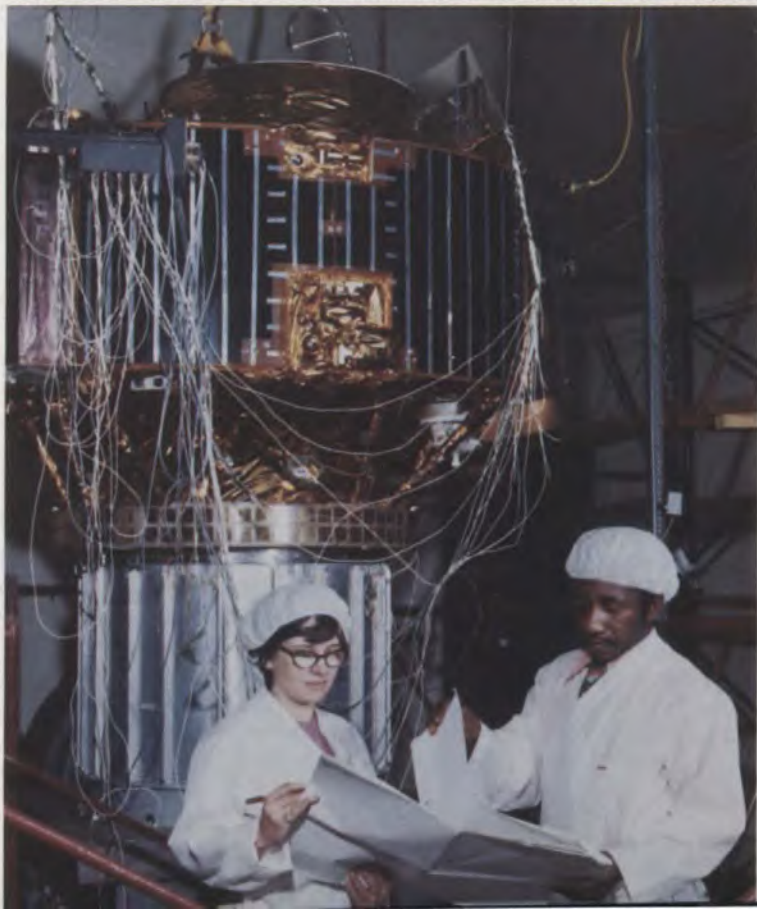
Pour maintenir la température interne dans une marge donnée, il fallut doter le satellite de divers dispositifs passifs et actifs qui constituaient le *sous-système de régulation thermique*, même s'il ne s'agissait pas de pièces distinctes. Il devait maintenir tous les éléments critiques de la charge utile à des températures qui leur permettraient de fonctionner efficacement jusqu'à la fin de la mission d'Hermès, indépendamment des conditions d'exploitation. Il comprenait des éléments chauffants disposés en des endroits critiques, des conduits caloriques destinés à refroidir les points chauds, des revêtements thermiques, des couches spéculaires secondaires, des enveloppes largables et des couvertures super-isolantes.



Il fallait aussi, c'était très important, maintenir le satellite en position stable tout en gardant ses antennes très exactement orientées vers des stations terriennes précises et ses panneaux solaires face au Soleil. À cette fin, on munit l'engin d'un système de stabilisation sur trois axes composé essentiellement d'un volant d'inertie, de détecteurs d'orientation et de propulseurs à hydrazine. La rotation du volant d'inertie assurait la stabilité sur un axe. Des capteurs solaires et des capteurs terrestres fournissaient des données sur les changements de position ou d'orientation du satellite, données qui servaient à déterminer quand il fallait actionner les propulseurs à hydrazine pour faire les corrections voulues.

**Figure 53**

Engin de vol Hermès à l'essai au Laboratoire David Florida du MDC au CRC.



Hermès possédait en tout 18 tuyères assez grosses (poussée de 22,2 newtons) et 16 petites (poussée de 0,67 newtons). Ces dernières servaient non seulement à la stabilisation sur les trois axes, mais aussi aux manœuvres de maintien en position nord-sud ainsi qu'à la décélération et aux freinages d'impulsion. On utilisa les grosses tuyères surtout au stade de l'orbite d'attente ainsi que pour permettre au satellite de dériver vers son emplacement juste avant l'établissement de l'orientation. Beaucoup plus tard, en juillet 1979, lorsque le gouvernement australien demanda au Canada de faire une démonstration d'Hermès, c'est grâce aux petits propulseurs qu'on a pu déplacer le satellite de sa station à 116 degrés de longitude ouest à 142 degrés ouest.

Les deux antennes de télécommunications que porte Hermès sur sa face avant (voir figure 50) avaient chacune une ouverture de faisceau de 2,5 degrés et pouvaient être individuellement orientées pour embrasser n'importe quelle partie de la Terre visible du satellite. Nous reviendrons plus en détail sur les possibilités du sous-système de télécommunications.

Pour réussir la mission, il fallait très bien connaître la position et l'orientation de l'engin ainsi que l'état des appareillages embarqués et pouvoir modifier le plan de fonctionnement, charger les accumulateurs, régler la température en des points précis et actionner les propulseurs. Il fallut donc réserver un nombre étonnant de canaux à bande étroite de télémesure entre le Centre de commande au sol et le satellite, afin de pouvoir effectuer ces multiples contrôles et commandes. À lui seul, par exemple, le système thermique exigeait 34 canaux. Dans le sous-système *télémesure, pointage et commande*, 590 canaux étaient réservés à la télémesure et 255 aux fonctions de commande, tous dans la bande des 2-2,3 GHz. De conception canadienne, il était parfaitement compatible avec le réseau global de stations de contrôle du satellite appartenant à la NASA.

Le lancement d'Hermès a marqué un tournant dans la politique spatiale canadienne. Satellite expérimental explorant les frontières de la technologie, cet engin comportait nécessairement des risques très élevés. Par ailleurs, il était impossible, à cause du coût du projet, de prévoir un satellite de réserve en cas de défaillance au lancement, d'une mauvaise stabilisation ou du dérèglement d'un des sous-systèmes de pointe qui n'avaient pas encore fait leurs preuves. Un tel échec aurait été une catastrophe pour le programme spatial national, non seulement parce qu'il aurait entraîné la perte des quelque 60 millions de dollars investis, mais aussi pour la perte de plusieurs années d'un temps précieux. Des Canadiens de tous les coins du pays avaient en effet consacré depuis trois ans des sommes et un temps énormes à préparer des

plans et du matériel destinés au programme expérimental de deux ans. Conscient de ce risque, le ministère des Communications prévut, de concert avec Télésat Canada, le lancement à la fin de 1978 d'un satellite hybride à la fois expérimental et commercial, Anik B, dont la partie du système de télécommunications en 12-14 GHz offrait essentiellement les mêmes possibilités que la partie à puissance réduite (20 watts) du transpondeur d'Hermès. Si Hermès avait été un échec, le Canada aurait donc pu théoriquement se servir d'Anik I pour effectuer un grand nombre d'expériences, avec, toutefois, deux ans de retard.

Le lancement d'Hermès fut heureusement un succès et les expériences purent débuter comme prévu. Cela ne signifie pas que tout se déroula sans ennui : il y eut beaucoup de difficultés, plusieurs d'entre elles assez graves, mais toutes purent être réglées grâce à la souplesse de conception du système et à l'ingéniosité des participants canadiens et américains. Les documents techniques, cités en bibliographie, exposent plus en détail les obstacles qu'il fallut surmonter et la façon dont on s'y prit pour le faire.

Hermès a été lancé par la NASA depuis Cap Kennedy, en Floride, au moyen d'une fusée Delta 2914 à trois étages. On a commencé à stabiliser le satellite par rotation après le détachement du deuxième et il tournait à environ 60 tours/minute lorsqu'il a été mis en place au-dessus de l'équateur à une hauteur de 35 800 km à 116 degrés de longitude ouest. À partir de ce moment, qui terminait la deuxième phase du lancement, la NASA a confié la commande du satellite au MDC.

La dernière étape, celle de la mise en orientation, comprenait toute une série d'opérations complexes qui devaient être accomplies avec beaucoup de précision, suivant un calendrier rigoureux de deux jours (voir figure 52). Les accumulateurs d'Hermès n'ayant qu'une puissance de réserve limitée, il fallait déployer et orienter les panneaux solaires destinés à alimenter l'engin sans tarder, c'est-à-dire avant que les accumulateurs ne soient trop faibles pour accomplir cette tâche. Cette phase comprenait les principales opérations suivantes:

- décélérer le satellite en le ralentissant de 60 à 2 tours/minute, ce qui assurerait tout juste la stabilité dynamique nécessaire à l'accomplissement des manœuvres suivantes;
- arrêter complètement sa rotation;
- réorienter l'engin pour que ses antennes de télécommunications soient tournées vers la Terre;
- larguer les deux plaques de piles solaires fixées au corps de l'engin et qui recouvraient les panneaux solaires pliables;

- déployer les panneaux solaires et les orienter vers le Soleil;
- vérifier l'orientation, faire tourner le volant d'inertie, actionner le système de stabilisation sur trois axes de l'engin et s'assurer que celui-ci était bel et bien stable;
- commencer à vérifier les sous-systèmes du satellite.

### Portée des télécommunications

Hermès fut initialement satellisé pour un programme d'expériences canadiennes et américaines qui devait durer deux ans et couvrir le territoire compris entre l'Alaska à l'Ouest et Terre-Neuve à l'Est, Hawaii au Sud et une bonne part des îles arctiques au Nord. Il conserva cette position au cours des deux premières prorogations du programme, mais en juillet 1979 il fut déplacé vers le Pacifique en vue de démonstrations spéciales en Australie et en Papouasie - Nouvelle-Guinée.

Chacune des deux antennes orientables individuellement, à ouverture de faisceau circulaire de 2,5 degrés, pouvait être déplacée de manière à couvrir n'importe quel point de la Terre visible du satellite. Ce faisceau couvrait sous l'engin une aire circulaire, ou empreinte, qui tendait à devenir de plus en plus elliptique au fur et à mesure que l'angle de couverture obliquait (voir figure 54). Pour la plupart des expériences, le Centre de contrôle des communications d'Ottawa était pris dans un des faisceaux. Lorsque le satellite était à au moins 5 degrés au-dessus de l'horizon, selon les observations faites de la station terrienne, les variations de puissance du signal résultant de l'atmosphère terrestre devenaient négligeables. L'illustration permet de voir les limites de cet angle de site de 5 degrés qui impose certaines restrictions pour l'emplacement d'une station terrienne rendant des services de qualité avec ce type de système de télécommunications.



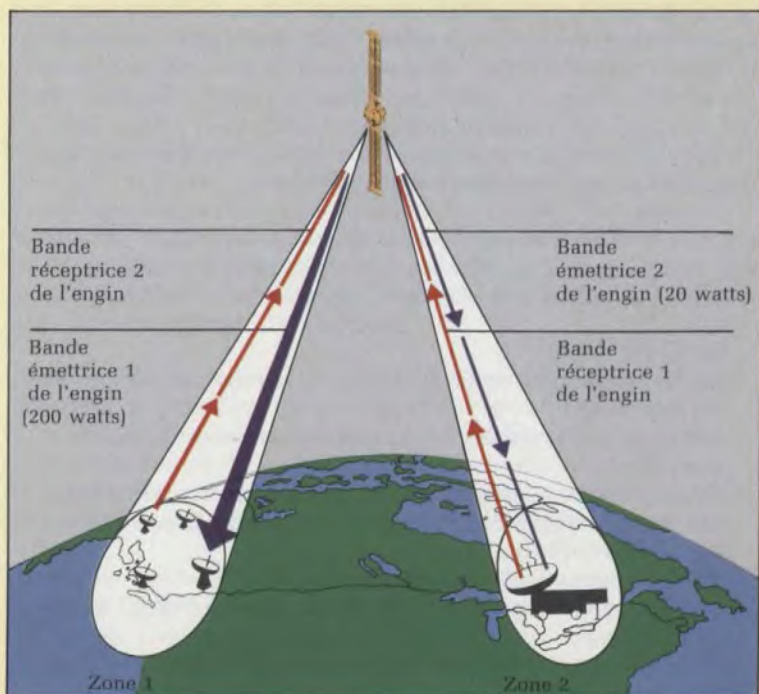
**Figure 54**

Vue réelle de la Terre à partir d'Hermès situé à 116 degrés de longitude ouest. Les antennes de télécommunications pourraient être orientées n'importe où dans ce grand cercle. Les deux petits cercles montrent la position des faisceaux d'antennes pour une expérience canadienne en particulier.



**Figure 55**

Pour une expérience donnée, couverture de la Terre fournie par les faisceaux circulaires d'Hermès quand le satellite était à 116 degrés de longitude ouest.



**Figure 56**  
 Configuration typique d'un système de télécommunications. Le Centre de contrôle du CRC (à droite) utilisait habituellement des terminaux terriens dotés d'antennes de 3 ou 9 m. Ceux des groupes expérimentateurs (à gauche) possédaient des antennes de 0,6 à 2 m de diamètre.

La souplesse du système Hermès permit d'effectuer toute une gamme d'expériences. Les caractéristiques techniques décrites à la figure 48 permettent de constater que chaque antenne pouvait assurer émission et réception des signaux en employant pour chaque fonction une bande de fréquences distincte. Il y avait deux niveaux de puissance d'émission : 200 et 20 watts. La figure 56 donne les paramètres types d'une expérience.

Les canaux d'Hermès permettaient de transmettre en 85 MHz à peu près n'importe quelle sorte de renseignements en régime unilatéral ou bilatéral et d'assurer par exemple :

- la télédiffusion;
- des services de télévision éducative avec canal de retour audio ou de données;
- la diffusion d'émissions de télévision provenant de régions éloignées;
- des services de télévision bilatérale pour les téléconférences;
- des services téléphoniques (transmission audio bilatérale);
- la radiotélédiffusion d'émissions;
- les télécommunications numériques;
- l'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT) à titre expérimental.

### Opérations en orbite

Les quatre mois qui séparèrent la satellisation d'Hermès et le début de la première expérience de télécommunications ont été fort remplis. Il fallait vérifier l'engin et les installations au sol ainsi que les procédés d'exploitation, et remplacer le personnel et l'organisme qui s'étaient chargés de la conception et du lancement par une nouvelle équipe d'exécution. Le gestionnaire du projet Hermès au CRC, J.N. Barry, resta responsable du satellite jusqu'à ce que toutes les vérifications aient été faites et que le programme soit remis officiellement au directeur du Bureau du programme des télécommunications spatiales (BPTS), N.G. Davis.

La transition ne se fit pourtant pas du jour au lendemain. Elle commença plusieurs mois avant le lancement, alors qu'on recrutait déjà le personnel d'exécution, que le noyau du Bureau se formait et que l'on avait entrepris un programme de formation. Les concepteurs d'Hermès et de ses systèmes de commande savaient exactement comment chaque élément devait fonctionner et contribuèrent donc d'une façon capitale à l'aplanissement des difficultés d'adaptation durant les premiers mois suivant le lancement. Ils se retirèrent ensuite progressivement pour permettre au



personnel du BPTS de s'occuper de l'exploitation. Plusieurs spécialistes restèrent toutefois à la disposition des responsables pendant toute la mission et leur aide fut essentielle au bon fonctionnement d'Hermès.

Une œuvre de pionniers comme celle-ci, nous l'avons déjà dit, comporte toujours des risques. Le satellite avait été soumis à des essais rigoureux au sol et en milieu spatial simulé. Mais pour des raisons techniques et économiques, on ne pouvait reproduire que très approximativement certaines conditions (comme l'absence de gravité et l'effet du rayonnement solaire), de sorte que le seul essai définitif se ferait dans l'espace.

Après la mise sur orbite, le succès ou l'échec du programme allait dépendre du personnel d'exécution et des spécialistes de soutien. Il y eut quelques mauvaises surprises inévitables, mais l'équipe sut faire la preuve de ses capacités et de ses ressources. Elle resta toujours calme et, à force d'ingéniosité, réussit à surmonter toutes les difficultés qui se présentèrent jusqu'à la fin de la mission.

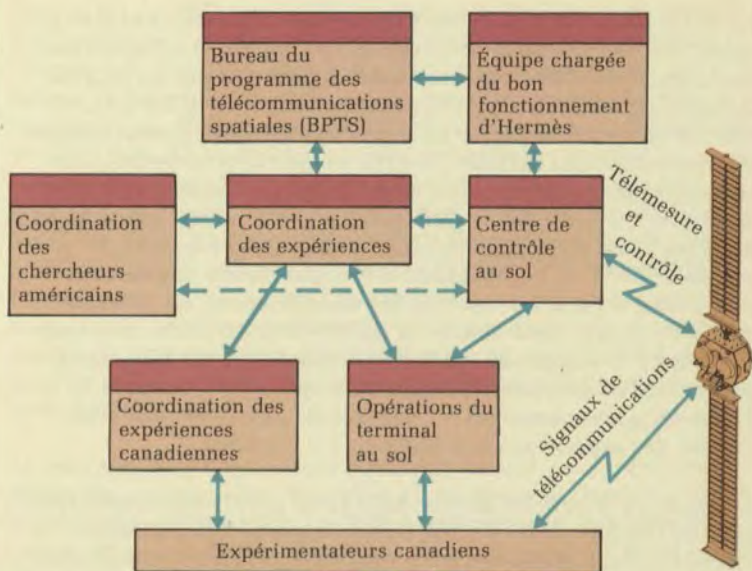
Toutes les manœuvres après-lancement effectuées par la NASA et le CRC furent menées à bien entre le 17 janvier et le 1<sup>er</sup> février 1976. Il se produisit toutefois une difficulté majeure durant la phase de l'orbite d'attente. L'engin ne réagissait pas aux commandes répétées, que lui envoyait la Station de commande au sol, d'ouvrir une soupape d'hydrazine pour mettre en marche les propulseurs. Cette ouverture devait se faire pendant les quelques minutes de chaque changement d'orbite au cours desquelles le satellite était dans le champ de la station. On laissa le satellite sur une orbite d'attente pendant deux jours afin d'examiner la situation, mais il fut impossible de trouver la cause du dérèglement. Comme on ne pouvait plus se permettre de faire d'autres recherches ou d'essayer prudemment des demi-mesures, on décida de prolonger la durée de la commande de 0,05 à 3 secondes et... la soupape s'ouvrit ! Au bout de quelques jours, on découvrit que la cause de cette panne avait endommagé plusieurs canaux de télémesure utilisés pour la régulation thermique de l'engin spatial. Fort heureusement, on réussit à modifier les mécanismes de contrôle pour pouvoir se passer des données.

Les deux premiers jours de février furent consacrés à la stabilisation de l'engin au-dessus de l'équateur, à 116 degrés de longitude ouest, au déploiement des panneaux solaires et à la confirmation du fonctionnement des principaux sous-systèmes. Les trois semaines suivantes furent remplies de vérifications techniques (dont neuf jours de fonctionnement ininterrompu du transpondeur à grande puissance) et de répétitions de manœuvres en vue de l'arrivée imminente des éclipses solaires.

La Terre projetait une ombre sur les panneaux solaires d'Hermès pendant une durée variant de quelques minutes à 72 minutes, juste après minuit, pendant 48 jours consécutifs, au printemps et à l'automne. La première éclipse se produisit le 28 février. À cause des contraintes de poids de la charge utile, le satellite ne possédait pas suffisamment d'accumulateurs pour fonctionner à plein pendant les éclipses. Il fallut donc arrêter les télécommunications pendant cette occultation quotidienne du Soleil et fermer d'autres sous-systèmes, pour ne maintenir que les services essentiels comme le contrôle de l'orientation et la régulation thermique. Ces manœuvres quotidiennes d'interruption et de reprise avaient été méticuleusement répétées et tout se passa bien jusqu'au 4 mars, lorsque la panne inexplicée d'un élément endommagea une composante du système électronique d'alimentation. Plutôt que de remplacer l'élément défectueux par la seule et unique pièce de rechange qui se trouvait à bord et risquer une panne totale, la Station de commande laissa Hermès en attente; une équipe de spécialistes du CRC, de la NASA et de l'industrie se pencha sur le problème et en trouva la cause. Le CRC conçut ensuite un procédé de contrôle automatique qui élimina presque totalement un risque semblable pour l'élément de rechange. Cela fait, le 20 avril, le système de télécommunications d'Hermès fut rétabli et ouvrit la voie à trois ans et demi d'expériences technologiques et de télécommunications.

Il y eut d'autres incidents pendant la mission, surtout dans les systèmes de télémesure et de stabilisation de l'orientation qui devenaient avec l'âge de moins en moins fiables. Mais le personnel avait alors acquis l'expérience qui lui permettait d'analyser et de redresser les anomalies. Ces défaillances ne gênèrent pas le fonctionnement des transpondeurs de télécommunications et n'ont donc pas nui aux expériences. Le 24 novembre 1979, alors que le satellite avait déjà presque doublé sa vie utile, une irrégularité fit pourtant perdre le contrôle de l'orientation. Faute d'avoir pu la corriger assez rapidement, les télécommunications radio avec Hermès furent interrompues et, malgré plusieurs semaines d'efforts acharnés, on ne put jamais les rétablir.

Les chercheurs canadiens et américains se partageaient Hermès, généralement en alternance, ce qui supposait évidemment une bonne intégration des programmes expérimentaux et des activités d'exécution. La figure 57 présente les principales composantes de la structure canadienne dont dépendait le Centre de commande au sol de l'engin spatial du CRC qui assurait la coordination des données pour tous les besoins des chercheurs. Le Centre de recherches Lewis de la NASA, situé à Cleveland, transmettait ses données au Canada par l'intermédiaire d'un Centre de coordination des chercheurs américains utilisant Hermès.



**Figure 57**  
Organigramme des expériences canadiennes sur Hermès.

Le BPTS assura la gestion des expériences canadiennes et fixa le calendrier de l'ensemble du programme conjoint. La plupart des chercheurs canadiens s'y connaissant à peine ou pas du tout en technologie moderne des télécommunications, le BPTS joua un rôle clé en leur fournissant un appui efficace et opportun, malgré des ressources très réduites. Il offrit des stations terriennes, les transporta et les installa dans divers coins du Canada, et même au Pérou, en Australie et en Papouasie - Nouvelle-Guinée; il organisa l'aide technique nécessaire, dirigea des réunions de planification et de coordination entre chercheurs canadiens et américains, évalua les résultats des expériences et, en général, se mit en quatre pour assurer le succès du programme. Soucieux de garantir le respect du calendrier très serré, il dut notamment penser aux retards administratifs attribuables à la lourdeur de l'appareil gouvernemental ou des grands organismes qui effectuaient des expériences et s'employa à y remédier.

La figure 58 expose les points saillants du programme expérimental. Les transpondeurs de télécommunications fonctionnèrent toujours parfaitement bien et toutes les expériences canadiennes prévues furent couronnées de succès.

### **Le programme expérimental canadien**

#### *Historique*

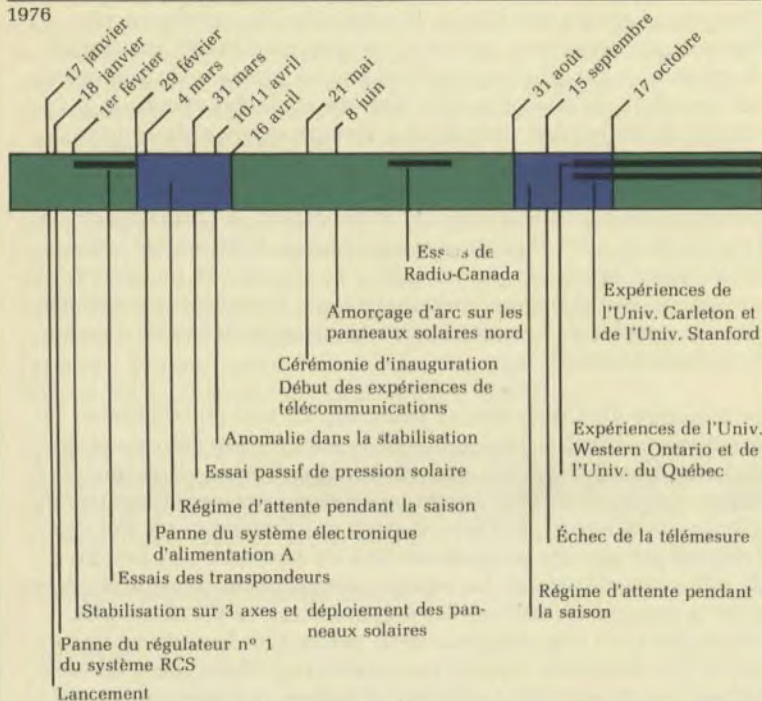
Au départ, le Canada et les États-Unis envisageaient d'utiliser Hermès à égalité pendant deux ans pour effectuer des expériences et des démonstrations de toutes sortes. Or, le programme dura en tout près de quatre ans. Les chercheurs de part et d'autre de la frontière employèrent pleinement et efficacement le temps dont ils disposaient ainsi et publièrent des rapports fouillés sur leurs constatations. Citons en particulier un document précieux, le colloque de novembre 1977 dont font état les Délibérations de la Société royale du Canada (voir bibliographie), qui renferme des indications fondamentales sur la mission Hermès et ses applications à la médecine et à l'enseignement, ainsi que des exposés approfondis sur les grandes expériences canadiennes et américaines. Le présent document ne brosse que les grandes lignes des travaux canadiens qui illustrent les grandes orientations du programme.

Vers la fin de 1972, lorsqu'on commença à planifier sérieusement les expériences canadiennes, Hermès constituait encore indéniablement un projet très risqué. Il comportait de nombreux problèmes techniques non résolus et ne prévoyait même pas d'engin de réserve en cas de panne prématurée au moment du lancement ou sur orbite. D'où l'hésitation bien naturelle des éventuels chargés de recherches canadiens à investir temps et ressources dans ce programme, trois ou quatre ans à l'avance. Le MDC savait toutefois que la réussite de cette entreprise dépendait de la participation des utilisateurs à la planification, à l'organisation, à l'exécution et à l'évaluation des expériences. Il incombait selon lui à chaque groupe expérimentateur de planifier et de concevoir son projet, fort de l'appui du ministère qui fournirait et installerait pour sa part les stations terriennes, y joignant au besoin aide et conseils techniques.

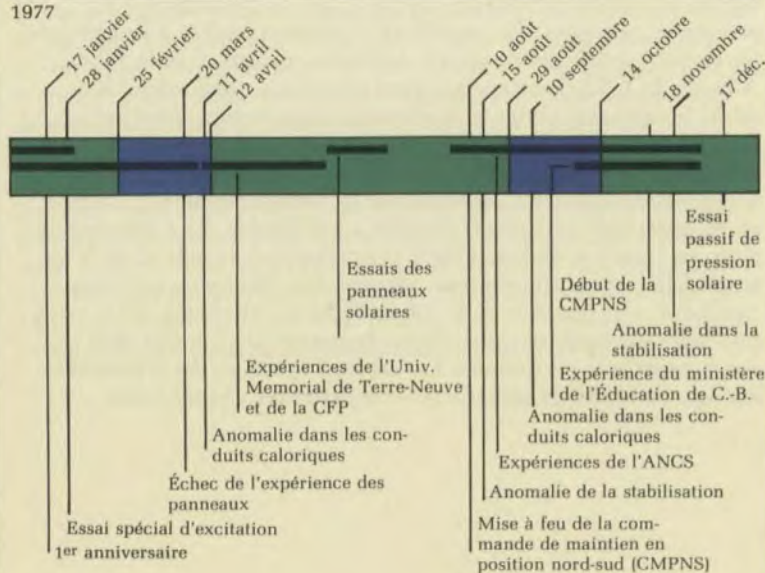
Le ministère s'est donc donné beaucoup de mal pour informer les éventuels « clients » des modalités du programme Hermès et des règles de base à respecter, en faisant valoir que ce serait une occasion unique de donner forme aux futurs systèmes et services de télécommunications satellisés. Il avait mis l'accent sur le fait que l'objectif premier du programme était de répondre aux besoins de télécommunications. Un aspect intéressant du système Hermès était sa capacité de réaliser des communications téléphoniques bilatérales avec transmission vidéo, permettant la participation active des auditeurs. Les stations terriennes, déplaçables, de taille réduite, pouvaient être facilement installées et exploitées, ce qui offrait aux expérimentateurs toutes sortes de possibilités. Ils pouvaient présenter des projets assez souples, quitte à les préciser par la suite grâce, entre autres, à des discussions avec le MDC. À la fin de 1972, l'entreprise ayant reçu un accueil assez favorable, le ministère invita officiellement des groupes, associations, gouvernements provinciaux et particuliers à lui présenter des programmes d'expériences faisant appel à Hermès. Un comité d'examen indépendant, nommé par la Société royale du Canada, en recommanda un certain nombre au ministère des Communications en fonction de leur valeur scientifique et sociale et de leurs possibilités de contribution au progrès des télécommunications satellisées. On procéda de la même façon pour choisir de nouvelles expériences ou autoriser la poursuite de celles déjà en cours lorsque le programme fut prorogé après les deux premières années. La figure 59 répertorie les expériences canadiennes.

**Figure 58**  
Faits saillants de la mission Hermès.

1976



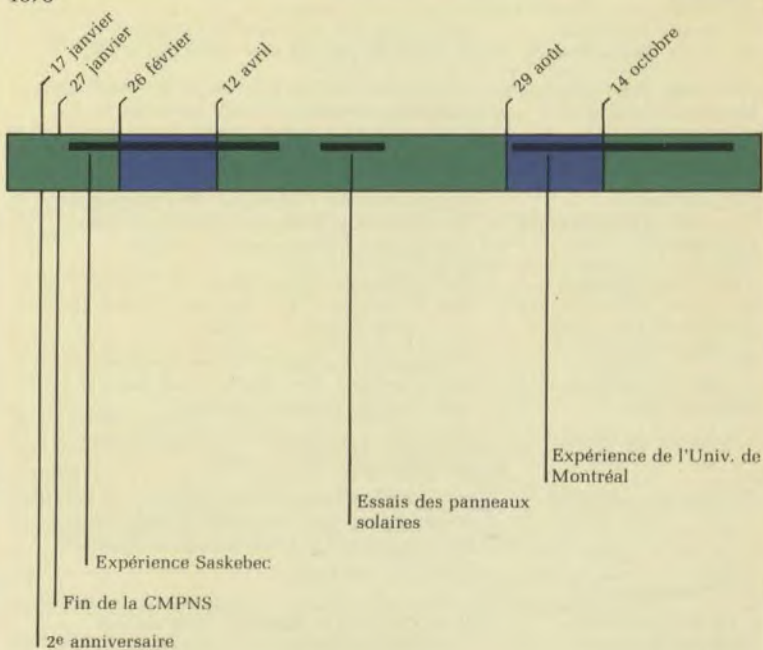
1977



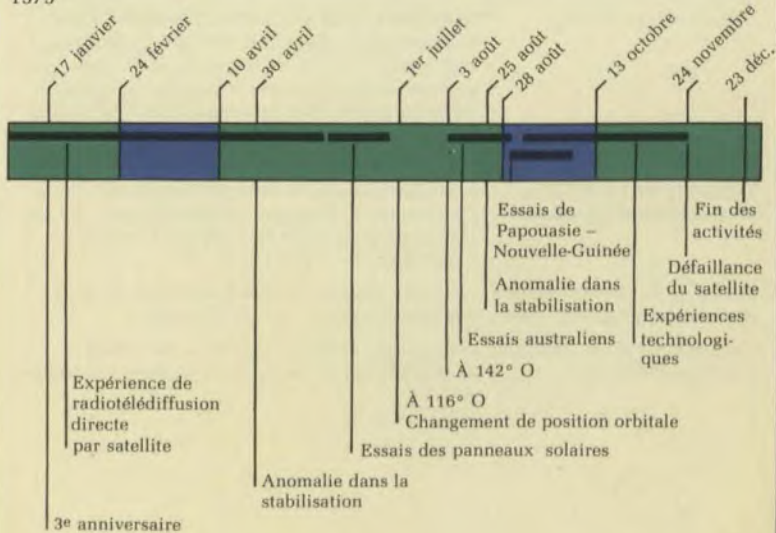
■ Saison de l'éclipse

■ Opérations de l'expérience

1978



1979



**Figure 59**

Expériences canadiennes de télécommunications avec Hermès.

**Télésanté**

Université Memorial St. John's (Terre-Neuve)	vidéo avec des hôpitaux de Stephenville, St. Anthony, Goose Bay et Labrador City.
Université Western Ontario London (Ontario)	vidéo avec l'hôpital général de Moose Factory, et téléphonie avec un poste infirmier à Kashechewan à la baie James.

**Interaction communautaire/télécommunications communautaires**

Alberta Native Communications Society Edmonton	programmation vidéo pour les communautés autochtones de Wabasca-Desmarais, Fort Chipewyan, Assumption et Grouard.
Taqramiut Nipingat, Société de télécommunica- tions inuites au Québec	radio entre les communautés de Sugluk, Payne Bay, Wakeham et Koartuk, au Nouveau-Québec, au bord du détroit d'Hudson.
Wa Wa Ta Native Communications Associa- tion (Ontario)	radio entre des communautés autochtones de Sioux Lookout, Fort Hope, Trout Lake et Sandy Lake dans le nord de l'Ontario.
Université du Québec	vidéo bidirectionnelle entre Buckingham et Saint-Raymond-de-Portneuf.
Université de Régina	vidéo bidirectionnelle entre deux communautés francophones très éloignées : Zenon Park (Saskatchewan) et Baie-Saint-Paul (Québec).

**Télé-enseignement**

Université Carleton Ottawa (Ontario)	avec l'Université Stanford, près de San Francisco (États-Unis) — échange de cours.
Université de Montréal (Québec)	avec des stations de Rimouski, Hauterive et Sept-Îles (Québec) — enseignement infirmier.
Université du Québec	avec les campus de Québec, Montréal, Trois- Rivières, Hull, Rouyn, Rimouski, Chandler et sept autres centres de la province. (Outre une gamme de programmes éducatifs, cette expé- rience a permis des échanges culturels, l'accès à la bibliothèque, la transmission de documents, des téléconférences.)
Ministère de l'Éducation de Colombie-Britannique	avec des réseaux de télédistribution de Chilliwack, Kelowna et Campbell River, un col- ège communautaire de Dawson Creek et un camp forestier à Pitt Lake.
Office de la télécommunica- tion éducative de l'Ontario	avec des réseaux de télédistribution de Fort Francis, Chapleau et Owen Sound.
Commission de la Fonction publique fédérale	avec quatre salles de classe de St. John's (Terre-Neuve) — cours de formation du person- nel.



---

**Services administratifs et communautaires**

---

Gouvernement de l'Ontario	téléconférences audio et vidéo entre Toronto et divers endroits du Nord-Ouest de la province.
Société Radio-Canada	petits terminaux de toit dans les villes de Montréal, Ottawa et Toronto. Expériences incluant des essais sur la réception des signaux de radio et de télévision, la télédiffusion directe à domicile et des événements spéciaux telle la télédiffusion des Jeux olympiques équestres de 1976 à Bromont (Québec).
MDC - Radio-Canada - OTEO	terminaux dans des localités éloignées de l'ouest de l'Ontario et au Labrador. (Expérience de six mois de télédiffusion directe à domicile avec des émissions de Radio-Canada et l'OTEO.)
Gouvernement du Québec	téléphonie avec des camps éloignés de la région de la baie James.

---

**Expériences scientifiques et techniques**

---

Bell Canada et Télésat Canada	évaluation des terminaux Hermès.
Centre de recherches sur les communications (CRC)	propagation des ondes radioélectriques, systèmes d'accès multiple par répartition dans le temps, transmissions des données à cadence accélérée, évaluation des terminaux.
CRC, COMSAT et NASA	systèmes de télévision numérique.
Hydro-Québec	synchronisation des signaux chronométrés des lignes électriques.
Gouvernement du Manitoba	télématique.
Université McMaster	modems numériques.
Conseil national de recherches	transfert de temps.
Université de Toronto	interférométrie radio.
Université de Waterloo	télécommunications de données.

---



**Figure 60**

Emplacement des terminaux terriens d'Hermès les deux premières années des expériences.

Outre le programme expérimental principal, le satellite sert aussi à effectuer toutes sortes de démonstrations ponctuelles. En février 1978, par exemple, il fut utilisé pour une téléconférence vidéo de cinq heures entre des spécialistes d'Ottawa et de Washington sur le système de transport spatial par navette, et notamment sur le STM (système télémanipulateur de la navette spatiale), ou bras canadien, comme on l'appelle maintenant. En mai 1978, lors d'un colloque international sur les télécommunications par satellite tenu à Lima (Pérou), il permit de présenter la télédiffusion directe à domicile. Le clou, pour ainsi dire, fut l'emploi d'une antenne de 0,6 m de diamètre, qui donna une excellente réception d'une partie de hockey de la Ligue nationale.

Il fallut aussi interrompre à plusieurs reprises les projets des chercheurs pour assurer des services de télécommunications d'urgence. Le 25 juillet 1977, par exemple, de fortes inondations coupèrent la ville de Johnstown, en Pennsylvanie, de toute communication téléphonique; pendant neuf heures, c'est-à-dire jusqu'à ce que d'autres moyens de télécommunications fonctionnent de nouveau, une liaison avec Hermès permit de coordonner les opérations de sauvetage. En juillet 1976, un incendie de forêt menaçait un camp d'arpentage isolé situé au Lac Fire, dans la région de la Baie James. Grâce à un terminal Hermès installé au camp, on put communiquer avec l'administration centrale (la Société de développement de la Baie James) et préparer un éventuel plan d'évacuation que l'on n'eut heureusement pas à mettre en œuvre, le vent ayant tourné.

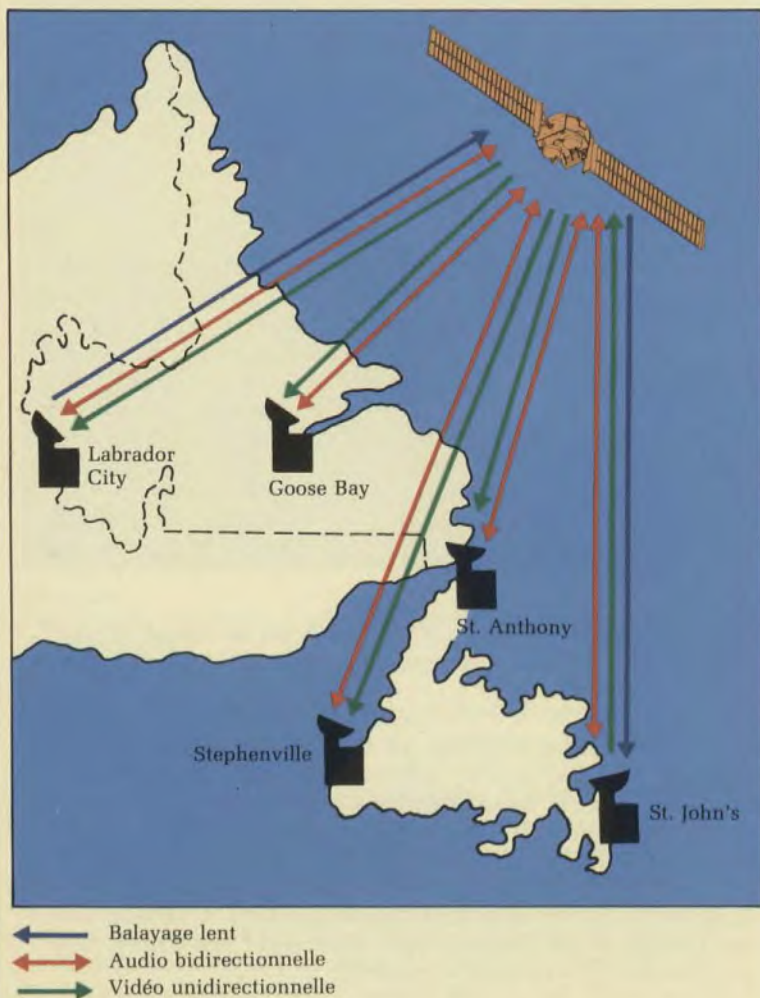
### *Expériences de télécommunications*

Hermès servit à un grand nombre d'expériences et de démonstrations. Une des grandes difficultés rencontrées, surtout la première année, fut d'accorder suffisamment de temps de satellite aux divers projets expérimentaux. Le seul moyen concret de répondre aux besoins croissants fut de programmer plusieurs expériences chaque jour disponible. Dès que l'une se terminait, une autre la suivait. Cela exigeait un certain nombre de modifications, tant à l'engin spatial qu'aux stations terriennes. Il fallait, par exemple, changer l'orientation des faisceaux d'antennes, modifier la puissance du transpondeur et activer un nouveau réseau de stations terriennes, tout cela dans la demi-heure de battement entre les expériences.

Plus tard, du 1<sup>er</sup> janvier au 30 juin 1979, on se concentra pendant six mois sur une seule expérience, celle de la télédiffusion directe à domicile.

De façon purement arbitraire, les expériences furent classées suivant leur principal objectif, soit social, technologique ou scientifique. En général, les expériences sociales exigeaient des essais et des démonstrations prolongés et accaparèrent donc presque tout le temps d'utilisation disponible. Elles portèrent surtout sur la télé-médecine, l'interaction communautaire, le télé-enseignement et les services administratifs et communautaires. Il va sans dire que certains de ces domaines sont intimement liés, dans le cas par exemple de la formation médicale.

Nous nous limiterons ici à quelques-unes des nombreuses expériences figurant aux tableaux précédents. Il a été difficile de faire un choix, qui a été nécessairement influencé par la portée générale de cette publication, par les données accessibles et par les antécédents des auteurs. On trouvera dans la bibliographie des ouvrages plus détaillés.



**Figure 61**  
 Diffusion des signaux dans l'expérience Hermès de télé-médecine à Terre-Neuve.

## *Expériences sociales*

### Télémédecine

Hermès permet la réalisation de deux grandes expériences, l'une effectuée par l'Université Memorial de St. John's, Terre-Neuve, et l'autre par l'Université Western Ontario de London.

Les services médicaux et les soins de santé dont bénéficient les citoyens diffèrent sensiblement de ceux qui sont offerts aux Canadiens des régions éloignées (et surtout septentrionales). En effet, beaucoup de ceux qui vivent dans le Nord ne peuvent pas demander une aide en cas d'urgence parce que leurs réseaux de télécommunications sont peu sûrs ou inexistants. Il faut de plus beaucoup de temps pour transporter un malade dans un centre médical relativement bien équipé, sans parler du coût et, parfois, du danger que cela représente. L'état du patient risque donc de se détériorer gravement en attendant le diagnostic et les soins médicaux appropriés. Si bien formés et aussi dévoués que soient les infirmières et les médecins de brousse, leurs tentatives d'aide peuvent souvent être contrecarrées par la médiocrité des réseaux de télécommunications et de transport.

Les régions isolées du Canada ont généralement un régime de soins médicaux à trois paliers : l'infirmerie ou le poste de secourisme local, l'hôpital régional où se trouvent des omnipraticiens, un chirurgien et éventuellement un anesthésiste, et le grand hôpital, généralement éloigné, doté d'installations et de personnel spécialisés. Entièrement fondée sur la communication entre ces trois niveaux, l'efficacité du système d'ensemble a été déplorable. Ajoutons à cela que la mise en place de systèmes terrestres à hyperfréquences serait trop coûteuse étant donné l'éparpillement de la population, l'incertitude des communications radio à ondes courtes due aux perturbations ionosphériques et, enfin, le prix de revient exorbitant des visites de spécialistes.

Les expériences de télémédecine au moyen d'Hermès avaient pour but de montrer que la technologie moderne pouvait améliorer la situation. Sans doute faudra-t-il toujours regrouper les services les plus onéreux dans un nombre limité de centres médicaux. Dans certains cas, comme dans celui d'une intervention chirurgicale majeure, on n'a pas le choix puisqu'il faut que le chirurgien opère directement sur le patient que l'on devra nécessairement conduire là où se trouvent médecin et installations requises. Mais les expériences d'Hermès démontrèrent que toute une gamme de services médicaux pouvaient et devraient être assurés par télécommunications.

Les responsables de l'expérience de Terre-Neuve eurent recours à Hermès dans le cadre d'une initiative de formation permanente destinée à des médecins, des enseignants et des infirmières scolaires. Les programmes étaient transmis d'un point central à quatre hôpitaux éloignés, et un système de télécommunications unilatéral en vidéo et bilatéral en audio permettait de présenter le matériel et de discuter des malades et de leur dossier. Une antenne parabolique de deux mètres installée sur le toit de chaque hôpital isolé captait le programme audiovisuel de St. John's, le retour se faisant en audio seulement. La figure 62 donne la liste des organismes coordonnateurs et de leurs programmes.

**Figure 62**

Programmes de télémédecine diffusés au moyen d'Hermès du 28 mars au 18 juin 1977.

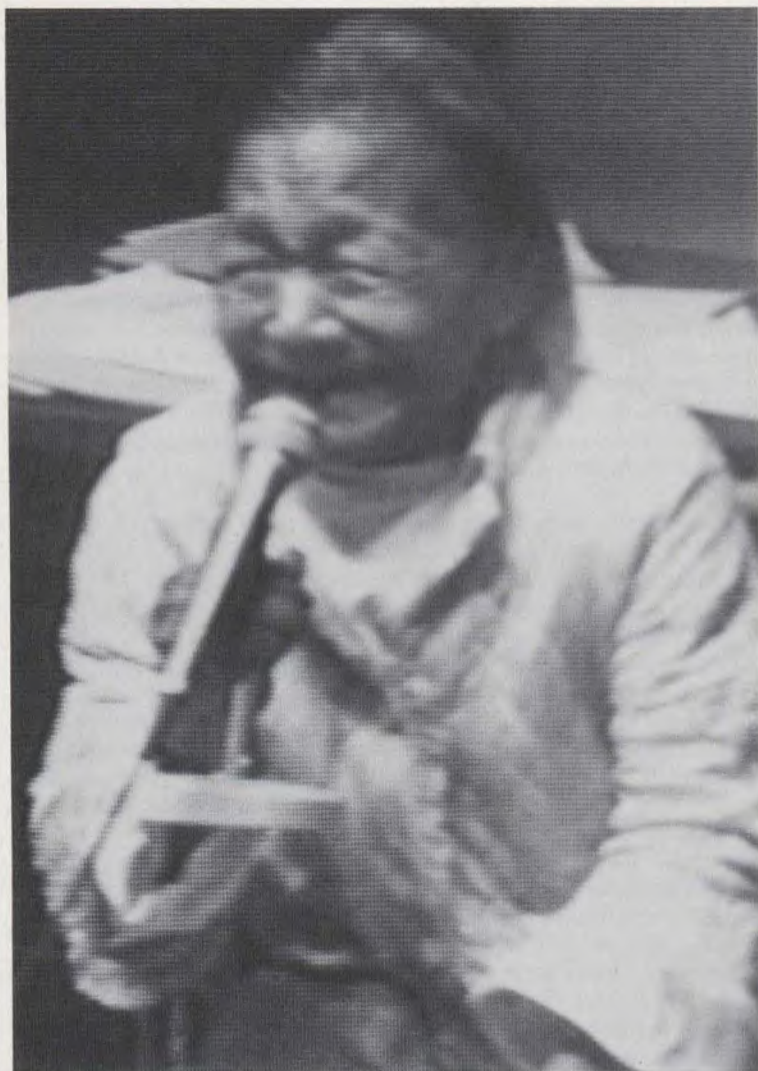
Titre du programme	Organisme coordonnateur
Enseignement médical continu	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Troubles du développement liés à la communication chez les enfants</li> <li>• Thérapeutique</li> <li>• Anesthésie</li> <li>• Médecine (cardiologie, neurologie, gastro-entérologie, pédiatrie)</li> </ul>	Faculté de médecine
Enseignement continu en sciences infirmières	École des sciences infirmières Université Memorial
Normes socio-médicales	Newfoundland Hospital Association
Enseignement socio-médical communautaire	Ministère des Services sociaux & de la Santé, Gouvernement de Terre-Neuve, Service d'éducation permanente Memorial
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutrition pour les femmes enceintes et les diabétiques</li> <li>• Enfants maltraités</li> </ul>	
Services de consultation et transmission de dossiers médicaux : transmission de radiographies par balayage lent de Labrador City à St. John's	Faculté de médecine

Dans cette expérience, approximativement 20 p. 100 du temps de satellite était réservé aux présentations de cas ne pouvant être programmées d'avance ainsi qu'à des consultations de dernière minute et à d'autres besoins spéciaux. C'est ce qui permit, par exemple, de tenir deux grandes téléconférences, un symposium mixte entre médecins et pharmaciens et l'assemblée annuelle de l'Eastern Canadian Surgical Society.

L'essai de l'Université Western Ontario, par contre, visait essentiellement la prestation de services de consultation. Des conseillers médicaux de l'Hôpital universitaire de London recevaient des transmissions vidéo de l'Hôpital général de Moose Factory, situé sur les bords de la baie James. London, Moose Factory et un avant-poste infirmier de Kashechewan, dans la région de la baie James, étaient reliés par des liaisons audio. Tout au cours de cette expérience, 64 spécialistes de London furent disponibles aux fins de consultation et d'enseignement.

Les choses se passaient ainsi : le chirurgien qui se trouvait dans la salle d'opération de l'Hôpital de Moose Factory recevait des conseils d'un spécialiste et d'un anesthésiste de London. Ces derniers pouvaient également télécommander la caméra de télévision à Moose Factory pour voir un détail en gros plan. À Kashechewan, l'infirmière qui avait envoyé le malade à Moose Factory et qui allait le suivre par la suite pouvait savoir par liaison audio avec l'hôpital quels soins avait reçus son malade. Les consultations portaient sur toute une gamme de domaines, et il n'était pas rare qu'en une matinée on touche à l'hématologie, la chirurgie dentaire, la médecine générale, l'orthopédie, l'échographie obstétrique, la radiologie et la psychiatrie.

Ces expériences ne firent que confirmer l'importance de l'amélioration des télécommunications humaines dans le traitement médical. On en voit un clair exemple à la figure 63, où une Inuite de Moose Factory parle à son mari hospitalisé à London grâce à la liaison Hermès. Le couple ne comprenait que l'inuktituk et le personnel de l'hôpital ne pouvait communiquer avec le malade, qui craignait évidemment les soins les plus ordinaires parce qu'ils lui étaient inconnus. Cela commençait d'ailleurs à compromettre le pronostic. Mais grâce à Hermès, le patient put voir sa femme, lui faire part de ses difficultés et, surtout, obtenir l'appui et l'encouragement dont il avait tant besoin.



**Figure 63**

À Moose Factory, Inuite prodiguant affection et encouragements à son mari hospitalisé à London (Ontario).



Les deux cas types suivants, signalés dans les Délibérations de la Société royale, montrent l'intérêt des services de télé-médecine.

*Premier cas : À l'infirmierie* — Dans le Nord, à Kashechewan, une infirmière tente en vain toute la matinée de communiquer avec Moose Factory par radiotéléphone. Elle veut un avion pour transporter à l'hôpital un enfant qui souffre de varicelle, de pneumonie et d'une forte fièvre. En fin de matinée, elle obtient la communication grâce à Hermès. Le médecin de Moose Factory lui assure qu'elle a déjà fait tout ce qui était possible pour l'enfant et qu'il est déconseillé de faire voyager le jeune malade dans le froid. Elle peut facilement discuter du cas, ce qui n'est pas toujours possible par radiotéléphone à cause du brouillage. Rassurée, elle peut vaquer à ses autres occupations.

*Deuxième cas : À l'hôpital régional* — Une jeune femme accidentée, incapable de marcher sans béquilles, souffre de douleurs et de faiblesse cinq mois après l'insertion d'un clou de Küntscher dans un fémur. Des consultations par satellite avec des médecins de London permettent de constater que l'os s'est bel et bien soudé mais, à cause du manque d'exercice ou de mauvais mouvements, les muscles s'atrophient. Grâce à des contacts suivis avec des spécialistes, la patiente reprend confiance et commence un programme de physiothérapie. La liaison vidéo permet de suivre les progrès et l'évolution de sa démarche et de modifier les exercices au besoin. Progressivement, la jeune femme réussit à marcher avec une seule béquille, puis avec une canne dont finalement elle ne se sert que pour sortir. Trois mois plus tard, elle peut monter l'escalier, ne boite que légèrement et, surtout, se donne beaucoup de mal pour ses exercices. Elle quitte enfin l'hôpital en sachant que toutes les séquelles de son accident auront bientôt disparu. Tout porte à croire que sans l'appui constant des spécialistes de London, rendu possible grâce à Hermès, cette personne serait restée infirme le reste de ses jours.



Figure 64

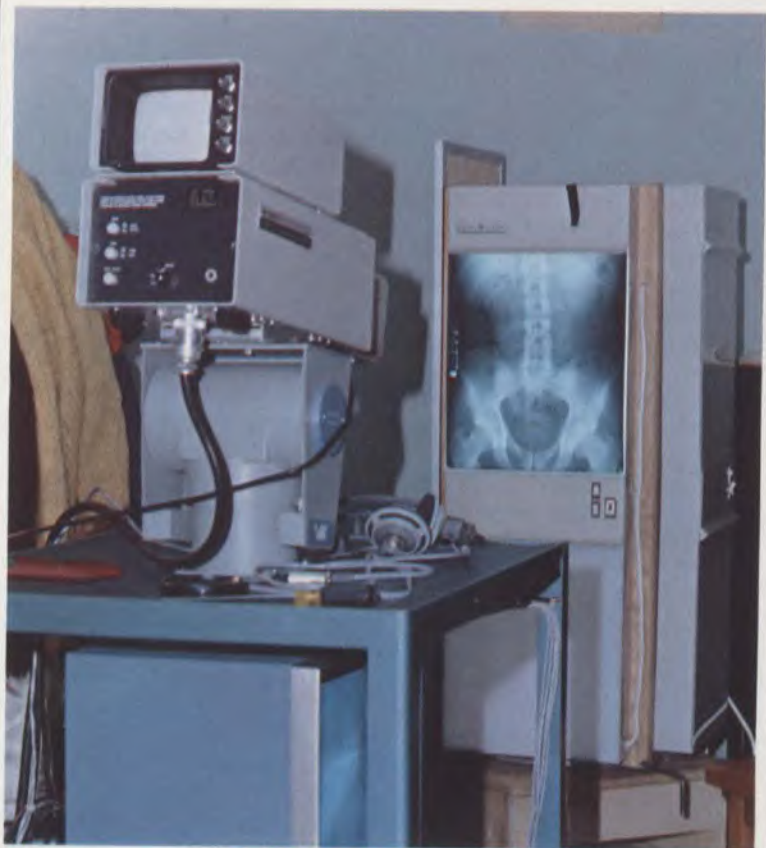


Figure 65

## *Interaction communautaire*

Les cinq expériences d'interaction communautaire suivantes n'ont évidemment pas été aussi spectaculaires que celles de télé-médecine. Leur principal objectif était de démontrer que les télécommunications satellisées peuvent permettre à des personnes d'exprimer leurs opinions et d'influencer le cours des événements qui débordent des strictes limites de leur milieu immédiat. Trois expériences furent réalisées par des associations autochtones : l'Alberta Native Communications Society (ANCS); la Taqramiut Nipingat Inc., association québécoise de communications inuites; et la Wa Wa Ta Native Communications Association du nord de l'Ontario. Les deux autres se déroulèrent sous les auspices de l'Université de Régina et du ministère de l'Éducation du Québec.

Selon l'ancien directeur exécutif de l'ANCS, Larry Desmeules, « Le satellite a remplacé les signaux de fumée comme le meilleur mode de communication entre Autochtones. » L'ANCS travaille depuis longtemps à l'établissement de moyens de communication entre Indiens et Métis de l'Alberta et des Territoires du Nord-Ouest. Les employés, pour la plupart des Autochtones, produisent, dans leurs studios, des émissions de radio et de télévision dans plusieurs langues vernaculaires ainsi qu'en anglais, et publient le seul hebdomadaire autochtone du Canada. Ils réalisent également des films éducatifs et de formation ainsi que des courts métrages. Le projet Hermès de l'ANCS, Iron Star, fut une première sur ce plan et l'on a gardé toute la documentation sur les difficultés rencontrées et les résultats obtenus.

Le projet eut du mal à démarrer, non seulement à cause des retards bureaucratiques habituels, mais aussi parce que ses objectifs étaient trop vastes par rapport aux ressources disponibles. Il faut tout d'abord signaler qu'il englobait une foule de facteurs comme le progrès social, l'éducation, la formation, la santé, la médecine, le droit, la culture et les divertissements. Hermès devait relier une vingtaine de collectivités et permettre des expériences originales qui tireraient pleinement parti des possibilités interactives du satellite et qui, estimait-on, évolueraient au fur et à mesure de l'expérience et des connaissances acquises.

Toutefois, il fallut limiter sérieusement l'envergure du programme pour des raisons d'ordre pratique, comme le délai trop court accordé à l'établissement d'un programme détaillé, des budgets restreints et des problèmes de recrutement et de formation du personnel. Finalement, un terminal avec antenne de 3 m fut installé à Edmonton, et trois avec antenne de 2 m dans des localités autochtones du nord de l'Alberta. Edmonton retransmettait des émissions scolaires, d'éducation permanente et d'intérêt communautaire aux localités éloignées, où l'auditoire était composé de téléspectateurs autochtones et de fonctionnaires de divers ministères provinciaux, qui participaient grâce à un canal téléphonique de retour empruntant Hermès. Les discussions portaient sur des sujets presque aussi variés que les domaines d'intérêt de l'ANCS déjà énumérés. Dans deux cas au moins, Iron Star a joué un rôle vital pour soulager l'angoisse des Autochtones. Comme le signalait M. Desmeules : « À Wabasca-Desmarais, où certains Autochtones étaient considérés comme des occupants illicites sur des terres qu'ils habitaient depuis des générations, nous avons diffusé des émissions d'information sur la façon d'acquérir les titres de propriété. Et à Assumption, par une information régulière, nous avons calmé les appréhensions de la population qui craignait de voir la construction d'un lotissement de logements retardée par les inondations. »

### *Télé-enseignement*

Il y a déjà de nombreuses années que l'on se sert des télécommunications pour enseigner, grâce aux appareils téléphoniques, de radio ou de télévision. Les liaisons de retour apportées par la télédistribution ont récemment augmenté les choix. Les liaisons satellisées, elles, ajoutent une nouvelle dimension au téléenseignement en offrant une plus grande souplesse d'interconnexion entre les divers terminaux au sol et en facilitant l'interaction entre participants.

Un réseau interactif de télécommunications crée un lien entre professeurs et étudiants dispersés et permet une participation active de ces derniers, même s'ils ne sont pas physiquement présents dans la salle de cours. La valeur de ces interactions entre étudiants et professeurs et entre les étudiants eux-mêmes dépend du genre et de la qualité du réseau dont on se sert ainsi que de la façon dont on procède. Il s'agit d'un domaine sur lequel les recherches et les évaluations sont rares et où il reste encore énormément de possibilités inexplorées.

Il n'est donc pas étonnant que le programme Hermès ait compté sept expériences différentes de télé-enseignement et que plusieurs d'entre elles aient comporté une importante dimension éducative. Quatre furent réalisées par des universités — deux par l'Université du Québec, une par l'Université Carleton, à Ottawa (de concert avec l'Université Stanford, en Californie) et une autre par l'Université de Montréal. Les trois dernières furent menées par des organismes gouvernementaux — le Distance Education Planning Group du ministère de l'Éducation de la Colombie-Britannique, l'Office de la télécommunication éducative de l'Ontario et la Commission de la Fonction publique fédérale.

Le programme STEP (Satellite Tele-Education Program) de la Colombie-Britannique comportait plusieurs aspects susceptibles d'intéresser d'autres organismes s'occupant de projets de télé-enseignement. Le territoire de cette province étant très montagneux, il est très coûteux d'assurer des services éducatifs à distance à l'aide de moyens de communication terrestres; aussi, l'idée d'avoir recours à un satellite sembla-t-elle particulièrement intéressante. Le principal objectif de l'expérience STEP était d'explorer la possibilité d'utiliser principalement les établissements d'enseignement existant dans la province. Une fois cette étape achevée, un projet de suivi du ministère de l'Éducation provincial fut choisi comme projet pilote sur Anik B. Il s'agissait alors de concevoir une programmation éducative interactive, pouvant être diffusée par satellite, dans le cadre d'un système d'enseignement à distance.

Ont participé au programme STEP les trois universités de la province, le principal institut technique, des collèges communautaires, un camp de bûcherons isolé, plusieurs associations d'hygiène publique, un centre culturel autochtone, plusieurs associations de bibliothèques ainsi que l'Office national du film. Vu leur manque d'expérience pratique du télé-enseignement par satellite, il fallut donner aux participants une certaine formation. On passa donc en revue les objectifs du programme lors d'un atelier auquel ces derniers assistèrent tous, y compris les animateurs communautaires et les exploitants de systèmes de télédistribution. En outre, les deux semaines précédant immédiatement le démarrage du service furent consacrées à des essais « en blanc ».

Émanant en général d'un centre directeur, les programmes éducatifs audiovisuels étaient diffusés par le satellite Hermès et les stations terriennes aux systèmes terrestres de télécommunications. L'expérience dura huit semaines, en 1977, et comporta 64 heures d'émissions de télévision couleur diffusées à six endroits. L'auditoire pouvait à volonté faire connaître ses réactions grâce aux liaisons audio d'Hermès ou au réseau téléphonique. Dans certains cas, l'émission était présentée par un spécialiste d'un des endroits éloignés qui dirigeait le programme audiovisuel par le truchement de la liaison audio. Cela donna d'excellents résultats. On sait que les auditoires de ces localités acceptent mal la domination exercée par les établissements des grands centres, et l'on a constaté ici encore que la participation était bien meilleure lorsque le programme était présenté localement, et cela alors que l'on avait essayé bien des genres de communications : systèmes de télédistribution communautaire reliés à des classes dans des collèges; terminaux d'ordinateur dispersés raccordés à un ordinateur central de l'Université de la Colombie-Britannique (U.C.-B.), lui-même connecté à d'autres systèmes informatiques d'Amérique du Nord; rattachement par radiotéléphone à un réseau de téléenseignement d'un camp de bûcherons éloigné accessible uniquement par avion et hydravion.

Chaque groupe participant conçut des émissions en fonction de ses besoins; elles furent périodiquement révisées pendant l'expérience d'après les réactions de l'auditoire. On s'employa largement à encourager l'innovation tout en évitant les répétitions. Le Fraser Valley Community College, par exemple, proposa une série d'émissions portant notamment sur les pensions et les soins de santé, pour répondre aux préoccupations notoires des personnes âgées de la vallée du Fraser et d'autres localités. Le comité consultatif des personnes âgées du collège jugea toutefois qu'il serait plus utile de traiter de questions d'actualité et choisit des sujets comme les droits de la femme et les revendications territoriales des Autochtones. L'Université de Victoria prépara de son côté une série d'émissions à caractère social, qui comprenait des présentations de téléfeuilletons, des ateliers et des groupes de discussion par radiotélédiffusion hertzienne. L'Institut de technologie de la province produisit huit émissions de formation professionnelle portant sur la foresterie, dont un exercice de simulation d'incendie de forêt. Enfin, de concert avec l'U.C.-B., des associations locales du diabète, de l'arthrite et des maladies du coeur organisèrent des tribunes publiques sur les soins de santé.

Le programme STEP d'Hermès connut un succès retentissant. Il s'agissait en fait de la première tentative, à l'échelle de la province, de démontrer la viabilité d'un système satellisé comme moyen de diffuser un grand nombre d'émissions éducatives à une population hétérogène et dispersée sur un vaste territoire. La technologie fonctionna de façon sûre et la qualité de la transmission audiovisuelle fut d'excellente qualité. En général, les projets furent menés à bien et les problèmes qui se posèrent furent clairement déterminés en vue d'un examen ultérieur. Dès le départ, on avait établi un mécanisme d'évaluation détaillé qui permettrait d'intégrer les premiers résultats aux expériences subséquentes effectuées avec Hermès ainsi qu'aux activités de suivi d'Anik B. En outre, au début de 1978, les responsables organisèrent un atelier pour examiner tout ce qui avait été acquis et discuter de l'évaluation, des conclusions et des recommandations. Le groupe aboutit notamment aux conclusions suivantes :

- a) Le télé-enseignement par satellite devrait, dans certains cas précis, faire partie d'un système de télécommunications multimodal, mais ne pas remplacer des programmes qui peuvent être transmis aussi efficacement, mais à moindre frais, par d'autres moyens comme les vidéocassettes. Il faudrait insister surtout sur les programmes interactifs.
- b) La réussite d'un programme dépend essentiellement d'une bonne participation de l'auditoire, que doit stimuler un animateur ou un moniteur au poste de réception. Il devrait y avoir en outre le moins possible de préenregistrements afin de favoriser l'interaction.
- c) Une question n'a pas encore de réponse : celle de la taille optimale de l'auditoire pour une bonne participation, soit le nombre de points d'action isolés et le nombre de participants dans chacun d'entre eux.

La bibliographie présente en détail cette évaluation. Dans un post-scriptum à son rapport final, l'évaluateur principal, J.M. Richmond, insiste sur le risque de faire des jugements prématurés en ce qui a trait aux communications humaines. Les évaluateurs avaient par exemple mal jugé une séance spéciale du STEP, un échange entre des classes d'art dramatique de Campbell River et de Dawson Creek (distantes d'environ 700 km) qui avait été qualifié de « mauvaise utilisation du système ». Enquête faite, M. Richmond constata que, malgré les difficultés techniques éprouvées pour établir des communications « naturelles », l'expérience avait eu un effet catalyseur : les élèves étaient impatients



de poursuivre l'échange entamé grâce à Hermès. Un professeur de Dawson Creek se rendit à Campbell River, un programme d'échanges fut élaboré et l'école de Campbell River envisagea l'établissement d'un programme pour enfants doués semblable à celui de Dawson Creek. Cette brève séance unique déclencha donc entre les deux écoles une interaction qui, selon toutes probabilités, va continuer.

#### *Services administratifs et communautaires*

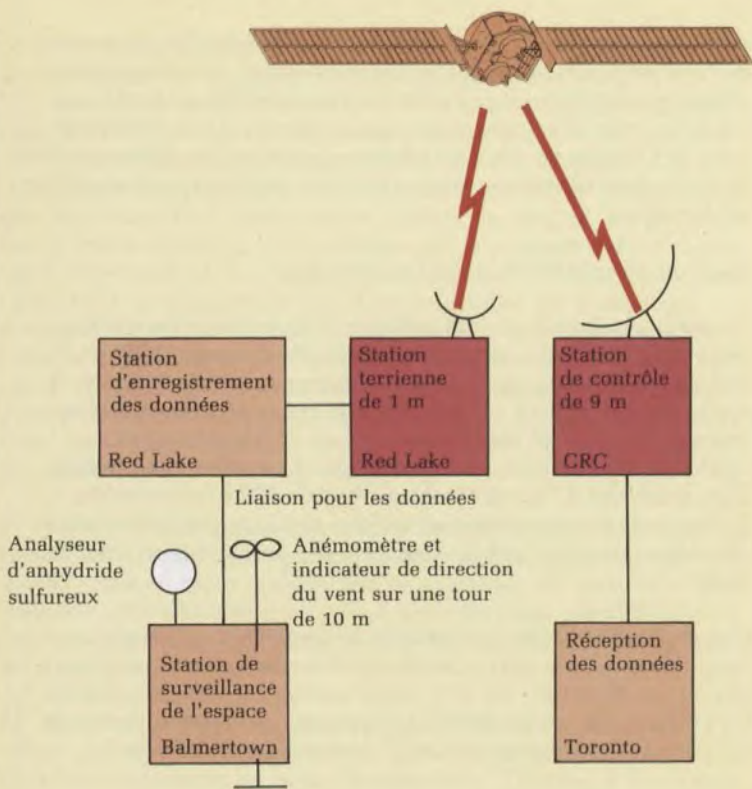
Soucieux de remplacer éventuellement les services provinciaux actuels de télécommunications, inefficaces ou impropres, par des télécommunications satellisées, le gouvernement de l'Ontario a fait participer sept de ses ministères à une expérience qui comprenait des essais et des démonstrations de certains services opérationnels, de téléconférences vidéo bilatérales et d'applications générales à l'administration. Plus de 200 fonctionnaires prirent part à cette réalisation qui fut conduite par la Direction des télécommunications du ministère des Services gouvernementaux.

Il s'agissait, entre autres, d'évaluer le rendement technique et opérationnel d'une station terrienne Hermès à antenne de 1 m, conçue par le MDC. En 1977, cette station fut installée, démontée et réinstallée en 12 endroits différents, transportée par route sur plus de 7 000 km et par avion sur presque 2 000 km.

Les travaux visèrent les quatre services suivants :

- télécommunications d'urgence utilisées par des patrouilles policières en régions isolées pour la lutte contre les incendies de forêt et dans d'autres situations critiques;
- télécommunications mobiles pour les policiers et les ambulanciers en déplacement;
- prestation de services de santé dans les régions éloignées;
- télédétection de données météorologiques et environnementales utilisées dans des programmes de lutte contre les incendies de forêt et de protection du milieu.

La figure 66 montre le réseau de télécommunications qui a servi dans l'expérience de télédétection. Automatiquement rassemblées et stockées dans un endroit éloigné, les données étaient transmises à Hermès par la station terrienne de 1 m, puis réacheminées par la Station de commande au sol du CRC à un centre d'extraction des données situé à Toronto.



**Figure 66**  
 Configuration expérimentale de l'expérience Hermès de télédétection en Ontario.

Cette expérience permit de démontrer que, dans le cadre administratif, les télécommunications par satellite avaient plusieurs applications possibles : transfert de renseignements entre centres régionaux et postes éloignés, formation de fonctionnaires, téléconférences et réunions spéciales de direction auxquelles participaient les bureaux isolés.

Les expérimentateurs conclurent tous que le programme interministériel avait été intéressant et utile. Il avait prouvé qu'il était techniquement possible d'améliorer les services de télécommunications et avait permis aux ministères participants de repérer les besoins administratifs précis auxquels pouvaient répondre les réseaux de téléconférence. La conséquence directe de cet essai fut la mise en œuvre sur Anik B d'un projet pilote de téléconférence en vraie grandeur.

Dans une autre série d'expériences, la Société Radio-Canada et l'Office de la télécommunication éducative de l'Ontario (OTEO) employèrent Hermès pour fournir toutes sortes de services à des collectivités et à des particuliers.

Au départ, Radio-Canada voulait évaluer la qualité de réception de la télévision directe à domicile utilisant des antennes montées sur les toits au centre de grandes villes (voir figure 67). Elle choisit deux emplacements à Montréal, deux à Ottawa et un à Toronto. Le transpondeur très puissant d'Hermès envoyait des signaux à 10 types différents de petits terminaux terriens, deux canadiens, cinq japonais et trois néerlandais. Le diamètre des antennes paraboliques allait de 0,6 à 2 m et la sensibilité des récepteurs hyperfréquences variait énormément. Les responsables choisirent délibérément de conduire l'expérience pendant la saison pluvieuse, ce qui permit de constater que les fortes précipitations nuisaient à la qualité de l'image dans le cas des antennes de 0,6 m, mais n'avaient pratiquement pas de répercussions qualitatives dans le cas des antennes de 2 m.

Le satellite Hermès pouvait donc assurer d'excellents services de télédiffusion directe à domicile à des collectivités ou à des foyers individuels. Devant ces résultats encourageants, les expérimentateurs se demandèrent quelle serait la qualité de la réception à domicile si l'antenne était placée à l'intérieur d'un bâtiment. Après avoir installé l'antenne de 0,6 m au 18<sup>e</sup> étage d'un immeuble d'Ottawa, derrière une fenêtre à double panneau de verre laminé, on constata tout juste une légère baisse du signal.



**Figure 67**  
Terminal Hermès avec antenne de toit de 1,2 m de diamètre servant à la réception télévisuelle directe à domicile.

Lors d'une autre expérience en services communautaires, l'OTEO recourut à Hermès pour étendre son réseau à des systèmes de télédistribution desservant trois collectivités de la province, Fort Francis, Chapleau et Owen Sound, alimentées par des stations terriennes à antenne de 2 m. Pendant les trois mois d'essai, la qualité de la réception fut excellente.

Du 1<sup>er</sup> janvier au 30 juin 1979, le temps alloué au Canada sur Hermès fut consacré aux essais de télédiffusion directe aux collectivités avec des émissions de Radio-Canada et de l'OTEO. Les organisateurs voulaient connaître l'opinion des téléspectateurs sur la qualité de l'image et savoir si, dans diverses conditions atmosphériques, de modestes terminaux terriens maniés par des profanes pouvaient donner un bon rendement. On plaça donc dans de petites localités du nord-ouest de l'Ontario, Summer Beaver (voir figure 68), Slate Falls, Mine Centre et South Bay Mine (voir figure 69), quatre terminaux récepteurs télévisuels (TRT) à antenne de 1,2 ou 1,6 m pouvant capter les programmes éducatifs de l'OTEO pendant les heures normales de classe. Trois TRT de 1,6 m furent également installés à Makkovik, Postville et Hopedale (voir figure 70), au Labrador, pour recevoir le Service du Nord de Radio-Canada diffusé en soirée. Cette expérience de

**Figure 68**  
Summer Beaver



six mois prouva que les TRT fonctionnaient bien même par les pires hivers canadiens alors que le matériel extérieur était exposé à la pluie, à la neige, aux tempêtes de glace et aux blizzards et que la température descendait à  $-45^{\circ}\text{C}$ . Malgré leur manque de formation technique, les personnes qui s'en occupaient apprirent rapidement à maintenir la qualité de l'image en enlevant la glace et la neige qui pouvaient s'accumuler dans l'antenne parabolique ou en changeant la position de celle-ci. Toutes les localités concernées se félicitèrent de la qualité des signaux et ne doutèrent pas qu'en situation opérationnelle le rendement serait tout aussi bon.

#### *Expériences technologiques et scientifiques*

Plusieurs groupes et particuliers se servirent d'Hermès pour toutes sortes d'expériences en technologie des télécommunications, allant de la propagation des ondes radio à la synchronisation des horloges à grande précision qu'utilise Hydro-Québec pour localiser exactement les dérangements des lignes. On fit également une expérience d'astronomie ayant des objectifs scientifiques.

**Figure 69**  
South Bay Mine



L'expérience technologique la plus importante fut la recherche du CRC sur un nouveau moyen de synchroniser un système d'accès multiple par répartition dans le temps (AMRT). Celui-ci permet à plusieurs utilisateurs de partager un canal de satellite en émettant des paquets de signaux de courte durée à un débit de transmission très élevé. Les paquets émis par le satellite ne doivent pas se chevaucher, mais se succéder très rapidement afin de ne pas gaspiller de temps. Pour calculer le rythme optimal de ces transmissions par paquets, il faut déterminer très précisément le temps de propagation des signaux entre chaque station émettrice au sol et le satellite. Cela constitue un défi technique de taille parce qu'il faut tenir compte du mouvement, certes limité mais important, du satellite autour de sa position nominale fixe. L'expérience utilisait une technique de synchronisation qui permettait l'entrée d'un utilisateur dans le réseau d'AMRT à quelques milliardièmes de seconde près. Hermès a donc établi la faisabilité de cette technique qui présente un intérêt tout particulier pour les systèmes de satellites à faisceaux étroits.

**Figure 70**  
Hopedale



À l'Université de Toronto, on se servit du satellite pour marier les résultats des radiotélescopes installés à Lake Traverse (Ontario) et à Green bank (Virginie de l'Ouest). Ces télescopes constituent ensemble un interféromètre dont la base étendue sert à étudier la structure et les variations des sources radioélectriques extra-galactiques avec une résolution très élevée. La liaison satellisée Hermès remplaçait les enregistrements sur bande magnétique faits à chaque emplacement, d'où la possibilité d'une corrélation en temps réel des sorties en bande large avec, pour résultat, une puissance de résolution accrue de l'interféromètre. En deux jours, on observa ainsi 150 sources radioélectriques et l'on en dénombra plusieurs nouvelles.

### *Expériences en technologie spatiale*

Plusieurs expériences d'Hermès portèrent sur la technologie spatiale (c'est-à-dire la technologie utilisée dans la conception d'engins spatiaux) plutôt que sur la technologie des télécommunications. Étant donné la conception révolutionnaire d'Hermès, il fallait absolument évaluer son rendement en vol pour vérifier les essais au sol et les prévisions théoriques, notamment les analyses avant vol et les tests détaillés effectués au sol; s'y ajoutaient une évaluation des données fournies par l'appareillage spécial des sous-systèmes de l'engin, des observations courantes du satellite ainsi que des expériences spécialement conçues à effectuer en orbite. Un certain nombre des documents figurant à la bibliographie donnent tous les détails sur ces expériences.

Dans l'ensemble, les conditions de fonctionnement et le rendement en vol correspondirent aux prévisions. Le système de stabilisation maintint l'orientation et la position du satellite dans les limites requises pour garantir de bonnes télécommunications et le transpondeur haute puissance fonctionna parfaitement pendant toute la mission.

Deux des expériences en orbite, l'une sur la chaîne de pilotage et l'autre sur la technique des panneaux solaires, contribuèrent à enrichir la connaissance des effets dynamiques de prolongements longs et souples fixés au corps rigide d'un engin spatial. Elles jetèrent la base des techniques permettant d'améliorer la conception des satellites futurs ainsi que des grandes plates-formes spatiales pouvant porter plusieurs charges utiles.

L'expérience de pilotage visait à déterminer l'effet de la pression solaire sur l'engin, celle-ci s'exerçant, bien sûr, principalement sur les grands panneaux solaires garnis de piles. On ferma donc les propulseurs à hydrazine qui commandaient l'orientation pour



laisser l'engin dériver pendant cinq jours sous l'effet de cette pression. Ce fut fait en période d'éclipse quand aucune expérience de télécommunications n'était prévue, l'engin étant d'ailleurs tout le temps stabilisé par un volant d'inertie. L'écart d'orientation de roulis et de lacet passa progressivement de moins de 0,1 degré à près de 1 degré, et le choc thermique (déformation thermique de la structure) au début et à la fin de l'éclipse entraîna des modifications mineures, mais bien réelles, de l'orientation. L'essai prouva donc qu'en période d'ensoleillement et d'éclipse, même sans l'aide des propulseurs, Hermès pouvait garder sa stabilité au moins une semaine.

**Figure 71**

En septembre 1979, le satellite Anik B a commencé à transmettre des émissions de télévision directement à des foyers ruraux, des centres communautaires et des systèmes de télédistribution. Ce projet pilote du MDC a employé 100 petits terminaux terriens peu coûteux fournis par SED Systems de Saskatoon. Les premiers utilisateurs ont été la famille King, dans le village de MacDiarmid (Ontario).



L'expérience des panneaux solaires avait pour but de mesurer les fréquences de vibration naturelles des panneaux et de tester leurs dispositifs d'amortissement en orbite, c'est-à-dire en l'absence de toute gravité. C'est ainsi qu'on interrompit la chaîne de pilotage et le pointage solaire des panneaux afin d'effectuer un essai de vibration dans l'espace. Pour réaliser la vibration, les propulseurs furent mis à feu trois fois de suite. Les mesures réelles et les prévisions des fréquences de vibration concordèrent assez bien. Par contre, les facteurs d'amortissement réels furent sensiblement plus élevés que les chiffres donnés par les essais au sol. Il y aurait sans doute lieu d'étudier cet écart de plus près. Une autre constatation intéressante fut le contraste frappant entre le comportement des deux panneaux. L'un produisait une oscillation à basse amplitude persistant longtemps après l'arrêt de l'autre. On ne trouva pas la cause exacte de cette particularité, mais elle tient probablement à un amortissement structurel différent des deux panneaux.

## Conclusion

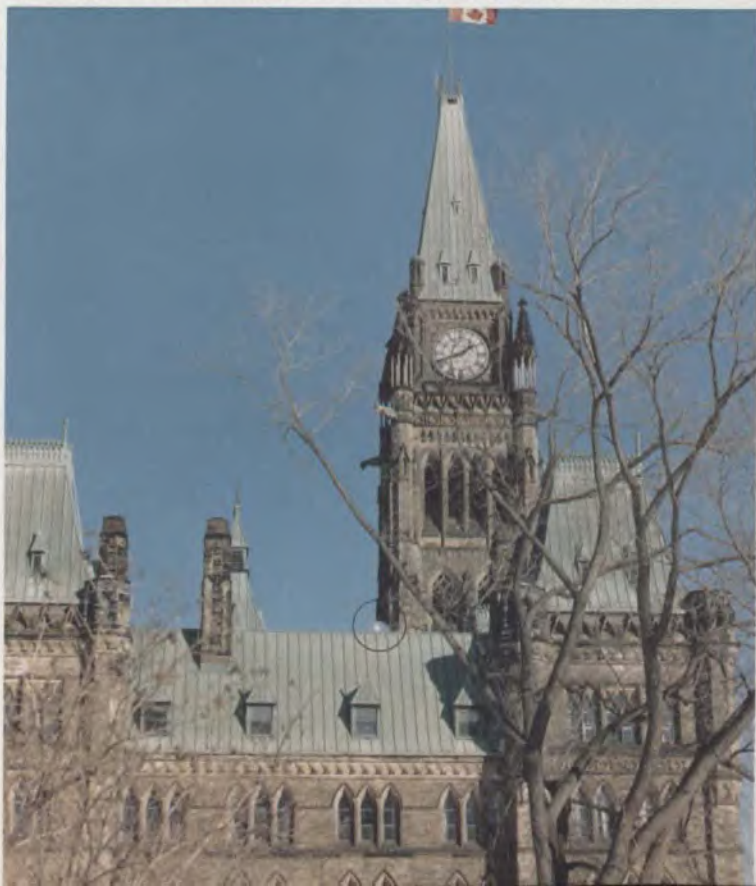
Le programme Hermès atteignit pleinement ses objectifs de départ qui étaient, tout d'abord, la mise au point d'un système de télécommunications spatiales ultra-puissant utilisant la bande des 12-14 GHz et, en second lieu, la réalisation, grâce à ce système, d'expériences technologiques et de télécommunications. Malgré les risques techniques extraordinaires qu'il avait fallu courir pour cette initiative de pionniers, le système fonctionna à merveille et doubla presque son espérance de vie utile. Les expériences canadiennes Hermès réussirent toutes très bien et prouvèrent clairement que le Canada disposait désormais du potentiel voulu pour relier effectivement organismes et particuliers de tous les endroits du pays. Les essais de télécommunications révélèrent que ce moyen spatial souple pouvait fournir toute une gamme de services intéressants répondant aux besoins sociaux et commerciaux, et contribuer ainsi à améliorer la qualité de la vie.

Premier satellite de télécommunications à exploiter la bande des 12-14 GHz, Hermès transmettait sur chacun de ses canaux avec une puissance vingt fois supérieure à celle des satellites alors en usage. On avait beaucoup redouté que les signaux y soient bien

plus atténués par les pluies que dans la bande plus faible des 4-6 GHz. Les premières expériences menées au CRC et ailleurs avaient pourtant semblé indiquer que seules des pluies très fortes produiraient un affaiblissement excessif des signaux, et cela pour quelques minutes seulement chaque fois. Les essais avec Hermès confirmèrent ces indications, et les courtes interruptions de télécommunications causées par la pluie ne gênèrent pas le déroulement des travaux prévus. Des terminaux terriens portables à antenne d'à peine 0,6 m de diamètre permirent de capter des émissions dont l'image était d'excellente qualité ainsi que beaucoup d'autres services de type commercial. L'un des traits les plus intéressants du système Hermès était sa capacité de réaliser des télécommunications bilatérales audio avec transmission vidéo et de permettre ainsi la participation active de l'auditoire.

**Figure 72**

Terminal Anik B (encadré) sur les édifices parlementaires, à Ottawa.



Il mit en relief les avantages de la bande des 12-14 GHz pour les télécommunications spatiales commerciales. Cette bande servant en effet exclusivement aux services spatiaux, la puissance des émissions émanant du satellite est quasiment illimitée; cela rend possible à peu près n'importe où l'installation de stations terriennes assez petites et bon marché pour répondre aux besoins des usagers. Compte tenu de ces atouts, le ministère des Communications passa un accord avec Télésat Canada en vue d'inclure sur le satellite Anik B un transpondeur fonctionnant dans la bande des 12-14 GHz, en plus du système commercial traditionnel en 4-6 GHz. Les programmes pilotes lancés dans ce cadre en 1979 donnent d'excellents résultats. Forts de l'expérience acquise grâce à Hermès, Télésat Canada et la Satellite Business Systems Corporation des États-Unis s'emploient actuellement à instaurer dans cette bande des services de télécommunications commerciaux spatiaux.

Quelles sont maintenant les prochaines étapes? On se souviendra qu'une des grandes raisons d'être d'Hermès était le désir de donner aux Canadiens, où qu'ils habitent, une chance égale de profiter des avantages de la révolution actuelle des télécommunications et de l'informatique. Il s'agit là d'un vaste sujet fort controversé qui occupera certainement les Canadiens encore bien des années.

Promoteur d'Hermès, le MDC s'est rendu compte, une fois de plus, que les institutions en place et les personnes qui les composent n'acceptent pas facilement le changement. Sans leur confiance, il est impensable de songer à transformer la technologie des télécommunications, surtout en ce qui concerne les nouvelles formes de services pluridisciplinaires de communications sociales. Une fois tous les problèmes techniques résolus, il restera quand même à franchir d'importants obstacles économiques, organisationnels, institutionnels, culturels et professionnels, pour créer rapidement de nouveaux services de télécommunications par satellite. Le programme Hermès et les expériences d'applications précommerciales actuellement en cours avec Anik B ont permis de déterminer ces obstacles et, dans certains cas, de les atténuer... mais il reste encore beaucoup à faire.

5

## Épilogue

Les chapitres précédents ont longuement traité des programmes Alouette-ISIS et Hermès. Ceux-ci, il importe cependant de le rappeler, ne constituent pas des éléments isolés et distincts de la politique spatiale du Canada, mais des étapes capitales du programme ambitieux que nous avons adopté. Conscients du coût très élevé des entreprises spatiales, bien des milieux étaient pleins d'appréhension et doutaient du bien-fondé de notre action lors du lancement de notre premier satellite. Nous n'en avons pas moins réalisé Alouette I, qui nous a embarqués dans la grande aventure spatiale, résolument poursuivie depuis lors.

Nous avons commencé par un satellite scientifique. Les universités et le gouvernement canadiens ayant déjà effectué des études poussées sur l'ionosphère, cela semblait tout naturellement un bon point de départ. Nous disposions en effet des spécialistes nécessaires et ils travaillaient déjà en équipe. Outre leur volonté collective, l'initiative individuelle joua un rôle clé pour donner au programme son orientation et en assurer la réussite scientifique et technologique. Nos efforts dans ce domaine furent ainsi soutenus par l'audace et la persévérance d'un certain nombre de personnalités auxquelles leur contribution remarquable valut plusieurs récompenses bien méritées. Il nous appartient cependant de rappeler ici le nom d'un homme qui joua à cet égard un rôle de premier plan. Principal architecte du programme spatial canadien, J.H. Chapman en fut également l'inspiration pendant plus de vingt ans, c'est-à-dire depuis le premier projet de sondage en contre-haut qui aboutit au lancement d'Alouette I. Il participa intensément aux programmes ISIS et Hermès et on lui doit en grande partie le rapport de 1967 intitulé *Upper Atmosphere and Space Programs in Canada* (couramment appelé rapport Chapman), qui contribua à orienter en ses débuts notre politique spatiale. Jusqu'à sa mort prématurée en 1979, il était sous-ministre adjoint du Programme spatial au ministère des Communications. Président du Comité interministériel sur l'espace pendant sept ans, il fut l'instigateur de presque toutes les initiatives spatiales du Canada ou exerça sur celles-ci une influence majeure.

Appuyée par les efforts de bien d'autres personnes, sa détermination a valu au Canada une place prééminente dans le milieu spatial international. Il est facile de retracer les étapes de ce cheminement. Ce fut tout d'abord, en 1962, l'entrée du Canada dans le club spatial avec la réussite d'un satellite scientifique qui donna un coup d'envoi parfait au programme spatial général. Les activités ISIS qui le suivirent constituèrent un excellent tremplin vers d'autres réalisations. D'une importance fondamentale dans les débuts de la plupart des nouvelles entreprises, la curiosité scientifique dut bientôt céder le pas devant l'accélération des besoins technologiques et d'applications. Le programme Alouette-ISIS fut un outil de formation précieux en technologie et en gestion des systèmes, tout d'abord pour les agents des laboratoires de l'État puis, par le truchement des transferts de technologie, pour le personnel industriel. Les réalisations technologiques et scientifiques exceptionnelles qui en ont résulté ont fait la réputation du Canada dans cette branche. C'est essentiellement pour cette raison que le gouvernement décida de mettre au point un système national de satellites de télécommunications, et que Télésat Canada fut créé pour l'organiser et l'exploiter. Sans le personnel qualifié qui s'était occupé du programme ISIS, cette entreprise aurait sans aucun doute été beaucoup plus difficile à réaliser.

Le passage à l'étape des applications fut le deuxième grand tournant du programme spatial canadien. Les télécommunications par satellite constituaient un choix logique pour le Canada, compte tenu de sa connaissance établie de tous les aspects des télécommunications et de ses contraintes particulières. Le mandat de Télésat Canada était de répondre aux besoins immédiats. Pour satisfaire à la demande à long terme, le MDC lança d'autre part un programme de technologie spatiale centré sur le satellite Hermès et reposant en bonne partie sur les nombreuses connaissances existantes en télécommunications. Il permit au Canada d'acquérir un savoir-faire technologique pour les satellites de ce type, favorisa la création de diverses installations connexes et comporta toute une série de retombées industrielles fort intéressantes. C'est aussi grâce à lui que se constitua au pays une bonne réserve de compétences dans les domaines de l'espace et des télécommunications et que nous avons pu nouer des liens nouveaux avec les milieux spatiaux internationaux.

Le troisième grand moment de notre parcours fut la décision, prise en 1976, de concevoir et de construire le télémanipulateur destiné à la navette spatiale américaine (voir figure 73). Les travaux furent effectués par l'entreprise privée, dans le cadre de marchés conclus avec le CNR. Notre industrie avait en effet atteint le point où elle pouvait s'attaquer à un projet de cette envergure dont la réalisation augmenta d'autant le capital technologique de notre secteur privé.

Toutes ces mesures contribuèrent à enrichir nos connaissances et compétences en science et en technologie de l'espace, à qualifier l'État comme maître d'œuvre et à favoriser l'émergence de nouvelles industries bien établies, capables de concevoir et de mettre au point des composants et des sous-systèmes spécialisés. Il s'agit là des éléments essentiels du programme bien articulé dont a besoin un pays à vocation spatiale, et nous pouvons certes être fiers d'être arrivés si loin. Au Canada, jusqu'ici, les satellites d'application furent tous centrés sur les télécommunications mais, nous en sommes persuadés, la prochaine étape importante verra leur diversification, avec des travaux sur la télédétection et la gestion des ressources. C'est d'ailleurs ce que l'Administration laissa entendre en décembre 1981 lorsqu'elle annonça l'affectation de crédits supplémentaires à ce poste. D'ici quelques

**Figure 73**

Le système de télémanipulateur (bras canadien) sur la navette spatiale Columbia en vol.





années, le programme élargi comprendra des études techniques et de planification intéressant MSAT (projet de satellite de télécommunications pour le service radio mobile) et un futur satellite radar. Si le gouvernement décide de persévérer dans cette voie, ne serait-ce que pour un seul de ces programmes, le Canada aurait une place enviable sur un marché qui pourrait représenter plusieurs milliards de dollars à la fin du siècle.

Si ce dessein reste le nôtre, nous pourrions probablement ajouter un chapitre à notre épopée spatiale. Rétrospectivement, Alouette I a quasiment tenu du miracle. Conçu et construit dans un laboratoire de l'État qui ne s'était auparavant jamais attaqué à la technologie spatiale, cet engin concrétisait plusieurs concepts et composants originaux, exprimant bien le genre de fiabilité qu'on pouvait atteindre. Il permit rapidement de constituer une banque de données précieuses sur l'ionosphère et démontra l'existence de toute une série d'aspects qu'il ne pourrait explorer à lui seul. L'élargissement de cette initiative, qui aboutit au programme ISIS, renforça non seulement les études scientifiques, mais mit en lumière la nécessité de créer une industrie pour la réalisation des applications spatiales.

Le programme Alouette-ISIS permit une connaissance poussée de l'ionosphère à l'échelle globale ainsi que de son comportement à toutes les phases du cycle solaire. Il joua en outre un rôle capital pour la compréhension des phénomènes auroraux ainsi que celle de l'interaction des mécanismes de la magnétosphère avec l'ionosphère et les aurores. Il fit ressortir les liens entre les particules chargées et les ondes radio et aboutit également à des résultats et à des découvertes imprévus, ce qui n'est pas étonnant compte tenu de sa nature exploratoire.

Au départ, on croyait que l'ionosphère était la clé des télécommunications radio sur de grandes distances, et le programme avait donc pour premier objectif la connaissance de son comportement. Mais au fur et à mesure que les résultats s'accumulaient, on constata que l'ionosphère était intimement liée à la magnétosphère la recouvrant et réagissait aux phénomènes physiques qui intervenaient dans la queue de cette dernière. Pour bien comprendre l'ionosphère, il faudrait donc en savoir davantage sur les régions plus lointaines. Malheureusement, quoique partis du bon pied, nous dûmes nous arrêter sur notre lancée après la décision d'annuler ISIS C. Les données que nous avons recueillies sur

l'ionosphère demeurent pourtant d'une valeur inestimable. Non seulement nous ont-elles renseignés sur l'environnement de la Terre, mais elles ont servi à l'établissement de tableaux statistiques auxquels ont recours les nombreux utilisateurs de télécommunications HF qui continuent de compter sur l'ionosphère malgré la concurrence des télécommunications par satellite et autres systèmes.

Avec Hermès, le MDC emprunta une voie tout à fait nouvelle, opposée à l'orientation de Télésat qui offrait un service de télécommunications traditionnel. On décida en effet d'élaborer une technologie révolutionnaire, d'ouvrir une partie inutilisée du spectre des fréquences et d'inaugurer, à titre de démonstration, de nouveaux services de télécommunications. Ces objectifs — parmi d'autres — furent atteints, et le programme Hermès fut aussi remarquable que l'entreprise précédente. Là encore, les ingénieurs et scientifiques du Centre de recherches sur les communications et leurs homologues du secteur privé prouvèrent qu'ils étaient capables de réalisations extraordinaires malgré les contraintes les plus strictes.

L'exécution, dans un laboratoire de l'État, d'un programme d'application soumis à un calendrier inflexible posait des problèmes de gestion incroyables. L'Administration, avec sa bureaucratie rigide, n'est en effet pas le milieu le plus propice aux décisions promptes suivies de mesures immédiates. Mais on réussit finalement à surmonter les nombreux obstacles et à réaliser intégralement les éléments innovateurs de l'engin. Celui-ci pouvait transporter des charges utiles de toutes sortes et aurait pu servir à diverses missions. Le sous-système le plus important de la mission Hermès était certes son transpondeur de télécommunications en 12-14 GHz doté d'un émetteur très puissant et d'un autre à puissance moyenne. Pendant près de quatre ans, ce transpondeur permit de mener à bien une série d'expériences très poussées de part et d'autre de la frontière canado-américaine. Les essais entrepris avec Hermès, et continués au-dessus du Canada grâce aux canaux loués sur Anik B, ont connu et connaissent toujours un grand succès. Tous les intéressés en sont enthousiasmés. Ces résultats laissent présager les services dont pourront bénéficier un jour tous les Canadiens, où qu'ils habitent.

À titre de maître d'oeuvre d'Hermès, le MDC se concentra sur l'ensemble du projet et sous-traita presque tous les travaux de développement à l'industrie canadienne, conformément à l'objectif du gouvernement d'asseoir la compétence industrielle nationale et de se départir sans tarder de sa fonction de maître d'oeuvre. Ce programme eut donc pour résultat important, entre autres, de permettre aux industries participantes d'acquérir un savoir-faire nouveau dans certains domaines d'avant-garde. Il déboucha également sur la mise en marché de produits canadiens liés à l'espace et créa des possibilités de ventes à l'échelle mondiale. La Com Dev Limited est l'exemple classique : ayant travaillé au programme Hermès, les fondateurs de cette société décidèrent d'exploiter commercialement les compétences ainsi acquises et d'approfondir leurs connaissances. Ils créèrent un marché international pour leurs services de conception et de fabrication de composants et de sous-systèmes UHF et hyperfréquences destinés à diverses applications spatiales ainsi qu'aux stations terriennes. Depuis cinq ans, le taux de croissance annuel de la Com Dev dépasse 40 p. 100 et la société a fourni du matériel hyperfréquences à plus d'une douzaine de programmes spatiaux. Signalons par ailleurs que presque tous les fabricants de stations terriennes, à l'exception de ceux du Japon et des pays communistes, se servent d'un produit Com Dev quelconque.

Si impressionnant soit-il, le cas de la Com Dev n'est pas le seul. Les exploits spatiaux du Canada sont à l'origine de réussites industrielles, comme la mise au point et l'exportation de terminaux terriens reliés à des satellites de télédétection des ressources terrestres, ou encore d'éléments structurels entrant dans la construction d'engins étrangers. Il s'agit là de retombées tangibles et précieuses qui ont essentiellement bénéficié jusqu'ici au secteur des télécommunications, sans doute en raison de l'influence exercée par le MDC. Il y a toutes les raisons de croire que cette stimulation s'étendra plus tard à d'autres industries.

Au fur et à mesure que le programme spatial canadien se développera et mûrira, il deviendra de plus en plus nécessaire d'avoir un organe central de planification des différentes disciplines de cette branche. Conscient de la chose, le gouvernement a déjà mis sur pied à cet effet le Comité interministériel de l'espace (CIE). Organisme de coordination, le CIE n'a toutefois pas un mandat assez vaste pour éliminer complètement la fragmentation des programmes, la segmentation des responsabilités et les omissions à l'étape de la planification. L'Administration pourrait bien créer ultérieurement une Agence spatiale canadienne regroupant toutes nos activités dans ce domaine.

Un programme spatial qui a atteint son plein développement devrait assurer un équilibre judicieux entre les projets scientifiques, la technologie et les applications. On peut se demander si le Canada a déjà atteint cet équilibre, ou quand ce sera le cas. Compte tenu des énormes investissements en jeu, il nous a évidemment fallu faire des compromis entre des éléments du programme, voire entre des applications précises. Pendant la décennie de 1969 à 1979, par exemple, c'est-à-dire pendant le programme Hermès, la part du budget spatial consacré à la science passa de 50 à 5 p. 100. Tant que le Canada ne pensera pas à long terme, nous continuerons d'être exposés à d'autres compromis regrettables. Par ailleurs, nous devons nous livrer à une tâche, difficile peut-être, mais absolument essentielle : trouver ici même la main-d'œuvre qualifiée nécessaire dans toutes les catégories professionnelles, des chercheurs spécialisés au personnel de l'industrie.

L'on détecte déjà des signes précurseurs d'un meilleur équilibre entre la science et les applications spatiales. Le Conseil national de recherches a en effet fourni aux chercheurs des laboratoires universitaires et gouvernementaux une orientation, d'abord par la voie de son Bureau de coordination de la science spatiale et, plus récemment, du Centre canadien des sciences spatiales. Tout comme le MDC a assumé le rôle de chef de file pour les applications des techniques spatiales aux télécommunications, le CNR dirige et coordonne de son côté divers projets scientifiques connexes, dont certains, espère-t-on, seront mis à exécution dans un avenir assez proche sur la navette spatiale américaine.

En examinant rétrospectivement les programmes Alouette-ISIS, Hermès et leurs réalisations remarquables, on ne peut s'empêcher de regretter qu'on ait sacrifié certains domaines, qui en ont bien entendu souffert. L'assise scientifique solide que le Canada s'était donnée dans les années 1960 s'est gravement détériorée dans la décennie qui a suivi au profit de la technologie et des applications spatiales. Celles-ci ont d'ailleurs également perdu par manque de continuité, puisqu'aucun satellite technologique n'est venu prendre la relève d'Hermès, même si Anik B a permis la poursuite des expériences de télécommunications. Mais les connaissances et les compétences acquises en technologie de l'espace depuis vingt ans ne représentent pas une peine perdue. Certains des spécialistes du CRC qui ont participé aux programmes Alouette et Hermès s'occupent actuellement de projets spatiaux divers, tandis que d'autres sont passés au secteur privé où ils ont enrichi le savoir-faire croissant de l'industrie canadienne, qui se retrouve maintenant dans nombre d'applications.

Nous tournant vers l'avenir, nous y voyons des possibilités et des applications nouvelles dans plusieurs secteurs. Certains travaux sont d'ores et déjà en chantier : de nouveaux satellites Anik, le télémanipulateur et SARSAT. En annonçant récemment qu'il allait continuer à appuyer les satellites de télécommunications et de télédétection, le gouvernement n'a fait que donner le signal de départ, ou plutôt de relance, aux initiatives spatiales canadiennes. Les raisons qui nous poussent à aller de l'avant sont d'ailleurs les mêmes que pour la génération précédente : le désir de ne pas acheter la technologie étrangère, ce qui entraînerait une perte d'emplois et de capitaux, mais de la fabriquer nous-mêmes pour répondre à nos propres besoins et satisfaire également à la demande mondiale. Cette nouvelle série d'entreprises devra être soigneusement planifiée et l'ensemble du programme spatial aura besoin de l'imagination et du dévouement de tous ceux et celles qui jouent en ce domaine un rôle clé. Pour que le Canada réalise sa vocation spatiale, il faudra effectuer, en matière d'organisation, certaines transformations qui assureront une coordination et une orientation meilleures des divers programmes entrepris. Donnons-nous l'encadrement, le programme équilibré et les talents nécessaires, et nos activités spatiales auront uniquement pour limites les capitaux que les secteurs public et privé sont disposés à investir et le dynamisme dont ils sont capables. Les sacrifices financiers que consentiront les Canadiens pour l'espace leur rapporteront alors au centuple.

Cap sur l'espace, le Canada suit la voie qu'il s'est tracée.

# Glossaire

<b>Alouette</b>	Nom donné au premier satellite canadien. L'alouette est un oiseau qui vole très haut. C'est aussi le titre d'une chanson folklorique canadienne-française bien connue.
<b>ANCS</b>	Alberta Native Communications Society.
<b>Anik</b>	Nom donné aux satellites de télécommunications de Télésat Canada. C'est un mot emprunté à l'inuit qui signifie « frère ».
<b>BPTS</b>	Bureau du programme des télécommunications spatiales du CRC.
<b>Centre mondial de données</b>	Créé afin de recueillir, préserver et échanger des données scientifiques géophysiques conformément aux principes fixés par le Conseil international des unions scientifiques, organisme autonome relevant de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO). Les centres de données sur l'ionosphère se trouvent à Boulder (États-Unis), à Moscou (URSS) et à Tokyo (Japon). Le centre principal est le GSFC.
<b>Champ géomagnétique</b>	Champ magnétique de la Terre.
<b>CIE</b>	Comité interministériel sur l'espace.
<b>CNR</b>	Conseil national de recherches (du Canada).
<b>Couche F</b>	Couche d'ionisation la plus élevée de l'ionosphère.
<b>CRC</b>	Centre de recherches sur les communications.
<b>CRD</b>	Conseil de recherches pour la défense.
<b>CRTD</b>	Centre de recherches sur les télécommunications de la défense.

<b>Densité électronique</b>	Représente généralement le nombre d'électrons libres par centimètre cube.
<b>Feuillet de plasma</b>	Partie centrale de la queue de la magnétosphère d'aspect planéiforme (voir figure 10).
<b>Fréquence critique de la couche F</b>	Plus basse fréquence radioélectrique qui pénètre dans la couche F de l'ionosphère sans réflexion.
<b>Fréquence gyromagnétique</b>	Fréquence de la giration d'une particule chargée dans un champ magnétique; aussi appelée fréquence cyclotron.
<b>Fréquence de plasma</b>	Fréquence à laquelle les électrons oscillent pour rétablir l'équilibre lorsqu'ils perdent leur position d'équilibre dans un plasma. Cette fréquence est proportionnelle à la racine carrée de la densité électronique.
<b>GHz</b>	Gigahertz, unité de fréquence du spectre radioélectrique, vaut 1 milliard (10 <sup>9</sup> ) de hertz.
<b>GSFC</b>	Centre de vol spatial Goddard de la NASA.
<b>Hertz</b>	Unité de fréquence du spectre radioélectrique appelée autrefois <i>cycle par seconde</i> .
<b>HF</b>	Haute fréquence; désigne une partie du spectre radioélectrique employée pour les télécommunications par réflexion ionosphérique; s'applique en général à la bande radio allant de 3 à 30 MHz.
<b>Hydrazine</b>	Fluide contenu dans les réservoirs des vaisseaux spatiaux. Sert aux propulseurs.
<b>Ionogramme</b>	Enregistrement émanant d'une ionosonde montrant deux courbes représentant le délai de propagation des échos en fonction de la fréquence.

<b>Ionosonde</b>	Émetteur-récepteur HF servant à <i>sonder</i> l'ionosphère.
<b>Ionosphère</b>	Région de la haute atmosphère présentant de fortes concentrations d'électrons libres et d'ions positifs.
<b>Ions</b>	Particules chargées électriquement. Atomes ou groupes d'atomes portant une charge positive et/ou négative.
<b>ISIS</b>	Satellites internationaux de recherches sur l'ionosphère.
<b>kHz</b>	Kilohertz, unité de fréquence du spectre radioélectrique équivalant à 1 000 hertz.
<b>LeRC</b>	Centre de recherches Lewis de la NASA.
<b>Magnétosphère</b>	Couverture ou cavité allongée au voisinage de la terre, ressemblant en gros à une comète et formée par l'interaction du vent solaire et du champ magnétique terrestre.
<b>MDC</b>	Ministère des Communications.
<b>MDN</b>	Ministère de la Défense nationale.
<b>MHz</b>	Mégahertz, unité de fréquence du spectre radioélectrique; vaut un million ( $10^6$ ) de hertz.
<b>NASA</b>	Administration nationale américaine de l'aéronautique et de l'espace.
<b>OERS</b>	Organisation européenne de recherches spatiales, ultérieurement appelée Agence spatiale européenne (ASE).
<b>OTEO</b>	Office de la télécommunication éducative de l'Ontario.
<b>Ovale auroral</b>	Emplacement, d'après la latitude et le moment du jour, de l'aurore dans chaque hémisphère.



Plasma	Concentration gazeuse d'électrons et d'ions positifs pouvant inclure aussi quelques particules neutres.
Plasmasphère	Zone de plasma dense à l'intérieur de la magnétosphère (voir figure 10).
Programme SARSAT	Programme de recherche et de sauvetage à l'aide de satellites.
Queue de la magnétosphère	Cette longue « queue » s'étend dans la direction opposée à celle du soleil.
Radio-Canada	Société Radio-Canada.
Rayon terrestre	Unité de distance commode équivalant à 6 370 km.
Scissure	Zone de transition de la magnétosphère marquant la séparation dans chaque hémisphère entre les lignes de champ géomagnétique, resserrées du côté ensoleillé et celles qui s'étirent au loin dans la queue de la magnétosphère.
Sputnik I	Premier satellite artificiel de la Terre. Lancé le 4 octobre 1957 par l'URSS.
STEM	Storable Tubular Extendible Member (Élément d'antenne extensible tubulaire) fabriqué par Spar Aérospatiale Ltée.
STEP	Satellite Tele-Education Program (Programme de télé-enseignement par satellite, C.-B.)
STM	Système télémanipulateur de la navette spatiale aussi appelé <i>bras canadien</i> .
STT	Satellite technologique de télécommunications, plus tard rebaptisé Hermès.
TRT	Terminal récepteur télévisuel ou station au sol réceptrice.
UHF	Ultra haute fréquence; désigne généralement la bande radio allant de 300 à 3 000 MHz.

<b>Vent solaire</b>	Plasma venant du soleil.
<b>VLF</b>	Très faible fréquence, désigne généralement la bande radio allant de 3 à 30 KHz.
<b>Zone aurorale</b>	Anneau ou bande marquant dans chaque hémisphère la zone où les aurores polaires sont les plus fréquentes.

# Chronologie

4 octobre 1957	Lancement de Spoutnik I, premier satellite artificiel de la Terre.
31 décembre 1958	Le Canada propose à la NASA un sondeur en contre-haut.
11 mars 1959	La NASA donne son accord de principe au sondeur en contre-haut.
18 novembre 1959	Lettre d'entente entre la NASA et le CRD concernant Alouette.
16 décembre 1959	Lettre d'entente entre le CRD et la NASA concernant Alouette.
29 septembre 1962	Lancement d'Alouette I.
23 mai 1963	Protocole d'accord entre le CRD et la NASA concernant ISIS.
6 mai 1964	Échange de notes entre les É.-U. et le Canada confirmant le protocole d'accord d'ISIS.
29 novembre 1965	Lancement d'Alouette II.
30 janvier 1969	Lancement d'ISIS I.
1 <sup>er</sup> septembre 1969	Création de Télésat Canada.
31 mars 1971	Lancement d'ISIS II.
20 avril 1971	Lettre d'entente entre le MDC et la NASA concernant Hermès.
18 mai 1972	Protocole d'accord entre l'OERS et le MDC concernant Hermès.
30 septembre 1972	Cessation des activités d'Alouette I.
9 novembre 1972	Lancement d'Anik I.
20 avril 1973	Lancement d'Anik II.
7 mai 1975	Lancement d'Anik III.
1 <sup>er</sup> août 1975	Cessation des activités d'Alouette II.

- |                  |  |
|------------------|--|
| 17 janvier 1976  | Lancement d'Hermès.                                    |
| 21 mai 1976      | Inauguration officielle des expériences Hermès.        |
| 17 janvier 1978  | Première prorogation du programme expérimental Hermès. |
| 15 décembre 1978 | Lancement d'Anik B.                                    |
| 24 novembre 1979 | Cessation des activités d'Hermès.                      |

## Bibliographie

- [1] Almond, J., C.A. Franklin et E.S. Warren, « A perspective on the Canadian satellite program », *Canadian Elect. Eng. Journal*, 1 (1976), pp. 47-60.
- [2] Boag, J.C., J. Saunders et J.M. Stewart, « A 2-Watt 136-Mc FM Crystal-controlled Transmitter », *1963 Internat'l Solid-State Circuits Conf. Digest of Technical Papers*, New York, Lewis Winner, 1963, pp. 96-97.
- [3] Bowhill, S.A., « Review on Ionosphere », *Space Research*, 10 (1970), pp. 681-688.
- [4] Chapman, J.H., P.A. Forsyth, P.A. Lapp et G.N. Patterson, *Upper atmosphere and space programs in Canada*, Ottawa, Imprimeur de la Reine, 1967.
- [5] Davies, N.G., J.W.B. Day, D.H. Jelly et W.T. Kerr, « CTS/Hermes — Experiments to explore the applications of advanced 14/12 GHz communication satellites », *Astronautics for Peace and Human Progress*, Permagon Press, 1979, pp. 319-336.
- [6] Franklin, C.A., « Alouette Experimental Equipment for Detecting Resonances and VLF Signals », *Proc. NATO Advanced Study Institute on Plasma Waves in Space and in the Laboratory* (Roros, Norvège, avril 1968), Édinburgh, University of Edinburgh Press.
- [7] Franklin, C.A. et E.H. Davison, « A high-power communications technology satellite for the 12- and 14-GHz bands », *AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics: Communications Satellite Technology*, éd. P.L. Bargellini, Cambridge (Mass.), MIT Press, 1974, pp. 87-121.
- [8] Hines, C.O., I. Paghis, T.R. Hartz et J.A. Fejer, *Physics of the earth's upper atmosphere*, Englewood Cliffs (N.J.), Prentice-Hall, Inc., 1965.
- [9] Jackson, J.E., *Alouette-ISIS program summary*, National Space Science Data Center, GSFC, Greenbelt (Md.) (en préparation).

- [10] Jackson, J.E., E.R. Schmerling et J.H. Whitteker, « Mini-review on topside sounding », *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, AP-28 (1980), pp. 284-288.
- [11] Ministère des Communications, *Le Canada et l'espace*, Secrétariat du Comité interministériel de l'espace, Ottawa.
- [12] Ministère des Communications, *Produits et services spatiaux canadiens*, Ottawa, 1981.
- [13] NASA Space Science Data Center, *Coordinated ionospheric and magnetospheric observations from the ISIS-2 satellite by the ISIS-2 experimenters*, 4 vol., GSFC, Greenbelt (Md.), 1981.
- [14] Nelms, G.L. et J.H. Chapman, « High latitude ionosphere — Results from Alouette/ISIS topside sounders », *Polar Ionosphere and Magnetospheric Processes*, New York, Gordon and Breach, Science Publishers, 1970, pp. 233-269.
- [15] Newell, H.E., *Beyond the atmosphere — Early years of space science*, NASA, SP-4211, Washington (D.C.), U.S. Government Printing Office, 1981.
- [16] Paghis, I., éd., *Hermès (le satellite technologique de télécommunications) — son fonctionnement et ses applications*, 3 vol., Société royale du Canada, Ottawa, 1977.
- [17] Paghis, I., C.A. Franklin et J. Mar, *Alouette I: The first three years in orbit*, Centre de recherches sur les télécommunications de la défense, Rapport n° 1159, Ottawa, mars 1967.
- [18] *Proceedings of the IEEE*. Numéro spécial sur le sondage en contre-haut et l'ionosphère, juin 1969.
- [19] Shepherd, G.G., J.H. Whitteker, J.D. Wittingham, J.H. Hoffman, E.J. Maier, L.H. Brace, J.R. Burrows et L.L. Cogger, « Topside magnetospheric cleft ionosphere observed from the ISIS-2 spacecraft », *J. Geophys. Res.*, 81 (1976), pp. 6092-6102.

- [20] Vigneron, F.R., T.D. Harrison, G. Lang et E. Quittner, « In-Orbit Characteristics of the Communications Technology Satellite Deployable Solar Array », *Proceedings of the 11th Inter-Society Energy Conversion Engineering Conference*, Las Vegas, 1975.
- [21] Vigneron, F.R., D. McMillen et J.R. Kettelwell, « The Attitude Stabilization and Control System for the Communications Technology Satellite », *1972 National Telecommunications Conference*, Houston (Texas), décembre 1972.
- [22] Whitteker, J.H., G.G. Shepherd, C.D. Anger, J.R. Burrows, D.D. Wallis, D.M. Klumpar et J.D. Walker, « Winter polar ionosphere », *J. Geophys. Res.*, 83 (1978), pp. 1503-1518.

